

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA ENERGETIKY**



**Návrh zvýšení elektrického výkonu bioplynové stanice technologií ORC**  
**Proposal to increase the power output of a biogas plant technologies ORC**

AUTOR:  
VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. TOMÁŠ BARÁT  
doc. Dr. Ing. BOHUMÍR ČECH

OSTRAVA 2017

## Obsah:

1. Úvod .....	11
2. Organický rankinův cyklus.....	11
2.1 Princip ORC.....	12
2.2 Rozdělení ORC jednotek .....	13
2.3 Pracovní cyklus ORC.....	15
2.4 Výparník ORC jednotky .....	15
2.5 Kondenzátor ORC jednotky .....	16
3. Bioplynové stanice .....	17
3.1 Základní rozdělení bioplynových stanic.....	18
3.2 Racionalita výroby energie v BPS .....	20
4. Bioplyn .....	20
4.1 Vlastnosti bioplynu .....	21
4.2 Využití bioplynu.....	22
4.3 Výroba bioplynu .....	23
4.4 Zpracovatelné vstupy v bioplynové stanici.....	25
4.5 Závislosti produkce bioplynu .....	26
4.6 Faktory ovlivňující proces tvorby bioplynu .....	27
4.7 Řízení a stabilita procesu .....	28
4.8 Základní rozdělení technologií BPS dle sušiny vstupního substrátu .....	29
5. Kogenerace.....	31
5.1 Energetická bilance kogenerační jednotky .....	32
5.2 Energetická bilance odděleného a kombinovaného systému .....	33
5.3 Členění kogeneračních jednotek.....	34
5.4 Oblasti použití kogeneračních jednotek.....	35
.....	36
5.5 Shrnutí výhod kogenerace .....	36
6. Bioplynová stanice Žerotín a. s. ....	37
7. Návrh zvýšení účinnosti BPS pomocí ORC zařízení.....	39
7.1 Zapojení ORC jednotky do systému KGJ.....	39
8. Optimalizace ORC jednotky .....	42
8.1 Parametry standardně dodávaného výparníku.....	42
8.2 Návrh optimalizovaného výparníku .....	43
8.3 Výpočet optimalizovaného výměníku .....	44
8.4 Příklad výpočtu deskového výměníku .....	46
8.4.1 Výpočet výměníku – určení součinitele prostupu tepla.....	48
8.5 Model výparníku – 3D .....	51
8.6 Rozměrový výkres výparníku .....	53
8.7 Rozměrový výkres desky výparníku.....	54

9.	Ekonomické zhodnocení ORC jednotky na BPS Žerotín .....	55
9.1	Naměřené provozní hodnoty ORC jednotky .....	55
9.2	Naměřené provozní hodnoty kogenerační jednotky .....	61
9.3	Zhodnocení navýšení výroby elektřiny ORC jednotkou .....	66
10.	Závěr .....	72
12.	Použitá literatura.....	74
13.	Seznam obrázků.....	76
14.	Seznam tabulek.....	78
15.	Seznam příloh .....	79

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Barát**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh zvýšení elektrického výkonu bioplynové stanice technologií ORC**  
**Proposal to Increase the Power Output of a Biogas Plant Technologies ORC**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh úpravy bioplynové stanice pro zvýšení elektrického výkonu technologií organického Rankin-Clausiova cyklu. Diplomová práce bude obsahovat:

1. Rešerši technologie ORC a možnosti jeho využití pro bioplynové stanice.
2. Výběr paliva a základní bilanční výpočty paliva, vzduchu a spalín.
3. Návrh uspořádání technologie ORC.
4. Tepelný výpočet zařízení ORC s vazbou na výrobu elektrické energie.

### Grafické práce:

1. Schéma zařízení.
2. Výkresová dokumentace komponentů ORC.

### Seznam doporučené odborné literatury:

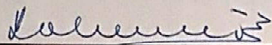
- [1] Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.
- [2] Kolat P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.
- [3] ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.
- [4] Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005
- [5] Podklady a materiály katedry energetiky v oblasti využití tepla z bioplynových stanic.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

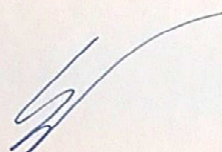
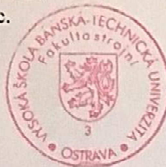
Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Diplomová práce vznikla s podporou struktury centra ENET VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě: 22. 4. 2017

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 22. 4. 2017

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Tomáš Barát

Adresa trvalého pobytu autora práce: Družstevní 1558, 688 01 Uherský Brod

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BARÁT, T. *Návrh zvýšení elektrického výkonu bioplynové stanice technologií ORC: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017, 79 s. Vedoucí práce: Čech, B.

Diplomová práce se zaměřuje na možnosti navýšení elektrického výkonu bioplynové stanice. Zabývá se optimalizací a výpočtem výparníku ORC jednotky a zhodnocením ekonomického a výkonového přínosu ORC jednotky výrobě elektrické energie bioplynové stanici. Toto zhodnocení, výpočet a optimalizaci jsem provedl na reálné bioplynové stanici, kde jsem za pomoci výpočtového softwaru navrhnul výparník, který by byl pro technologii použité kogenerační jednotky vhodnější a dále jsem provedl ekonomické a účinnosti výpočty na základě reálných naměřených hodnot, které byly nashromážděny za roky 2014, 2015 a 2016. Z těchto hodnot jsem provedl přesné kalkulace, které se týkaly výkonových a finančních výsledků. Tyto vypočtené hodnoty jsem na závěr vyhodnotil a konkrétně určil přínos v podobě procentuálního výkonového a ekonomického navýšení výroby elektrické energie ORC jednotkou.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

BARÁT, T. *Proposal to increase the power output of a biogas plant technologies ORC: Master Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2017, 79 p. Thesis head: Čech, B.

The diploma thesis focuses on the possibilities of increasing the electric power of the biogas station. It deals with the optimization and calculation of the ORC evaporator unit and the assessment of the economic and performance benefits of the ORC power plant for the biogas plant. I made this evaluation, calculation and optimization on a real biogas station, where I designed an evaporator with the help of the computational software, which would be more suitable for the cogeneration unit technology, and then I carried out economical and efficient calculations on the basis of the real measured values accumulated over the years 2014, 2015 and 2016. From these values, I made accurate calculations that related to performance and financial results. I finally evaluated these calculated values and specifically identified the contribution in terms of percentage power and economic increase of ORC power generation.

**Seznam použitých zkratk a symbolů**

CAD	počítačem podporované kreslení	
E	elektřina dodaná spotřebiteli	[MW]
RC	Rankin – Clausiův cyklus	
ORC	organický Rankin - Clausiův cyklus	
KGJ	kogenerační jednotka	
PEZ	primární energetické zdroje	
CZT	centrální zásoba tepla	
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla	[kWh]
R&I	diagram potrubí a zařízení	
ČR	Česká republika	
EU	Evropská unie	
BPS	bioplynová stanice	
CH <sub>4</sub>	obsah metanu	[%]
CO <sub>2</sub>	obsah oxidu uhličitého	[%]
H <sub>2</sub> S	obsah sulfanu	[%]
NH <sub>3</sub>	obsah amoniaku	[%]
ES	evropská směrnice	
pH	vodíkový exponent	[1]
P	výkon	[W]
Q	tepelná energie	[J]
T	termodynamická teplota	[K]
t	teplota	[°C]
m	hmotnostní průtok	[kg/s]
Q <sub>el</sub>	teplo dodané do kondenzační elektrárny	[GJ]
Q <sub>výt</sub>	teplo dodané do vytopny	[GJ]
Q <sub>KJ</sub>	teplo dodané do KGJ	[GJ]
Q <sub>s</sub>	teplo dodané spotřebiteli	[GJ]

HFC	obsah hydrofluorcarbonu	[m <sup>3</sup> ]
Na	obsah sodíku	[%]
K	obsah draslíku	[%]
Ca	obsah vápníku	[%]
Se	obsah selenu	[%]
N	obsah dusíku	[%]
Co	obsah kobaltu	[%]
Mo	obsah molybdenu	[%]
Nu	Nusseltovo kritérium	[ - ]
Re	Reynoldsovo kritérium	[ - ]
Pr	Prandtlovo kritérium	[ - ]
Gr	Grashofovo číslo	[ - ]
$\alpha$	Teplotní vodivost	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	Tepelná vodivost	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\eta$	Dynamická viskozita	[Pa.s]
$\nu$	Kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\dot{V}$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$v$	Charakteristická rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$S$	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
$O$	Obvod	[m]
$d_e$	Hydraulický průměr	[m]
$\dot{M}$	Hmotnostní průtok	[kg.s <sup>-1</sup> ]
$a$	Vzdálenost mezi deskami	[m]
$b$	Šířka desky	[m]
$n$	Počet desek	[ - ]

$l$	Charakteristický délkový rozměr systému	[m]
$c_p$	Měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\dot{Q}$	Tepelný výkon	[W]
$k$	Součinitel prostupu tepla	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]

## 1. Úvod

Člověk dnešní moderní doby, jenž je závislý na různých formách energie se v posledních letech snaží buď snižovat spotřebu energie, anebo se snaží využít každý energetický zdroj s co možná nejvyšší účinností. Pryč jsou ty doby, kdy se energiemi plýtvalo a nehledělo se na ekologii a smysluplné využití energií. Samozřejmě existuje mnoho případů, kdy nám v různých provozech vzniká tzv. odpadní energie. Je to energie, která je v daném procesu nevyužitelná nebo vzniká v důsledku provozu dané technologie. Jako příklad mohu uvést kogenerační jednotku. Kogenerační jednotka má nevyužitelné odpadní teplo resp. energii např. v podobě horkých spalin a dále v podobě chladicí vody bloku motoru a olejového kruhu kogenerační jednotky. Všechna tato energie je nevyužitá a je bez užitku mařena buď na chladičích, nebo vypouštěna výfukem do ovzduší. Samozřejmě s některými ztrátami nemůžeme nic dělat, abychom zachovali funkčnost procesu. Takových provozů, kde vzniká odpadní teplo, je spousta. Od paroplynových cyklů, přes chemické továrny až po bioplynové stanice. Naštěstí existuje několik způsobů, jak využít tuto odpadní energii. Jedním z těchto způsobů je použití ORC technologie.

Téma této práce jsem si vybral, protože jsem 2 roky pracoval pro firmu, kde jsme spolupracovali s americkou společností, které vyráběla a vyvíjela ORC zařízení na využití odpadní teplé vody. V České Republice a na Slovensku jsem se podílel na výstavbě cca 25 instalací. Další důvod, proč jsem si toto téma vybral, je ten, že mne ORC technologie velmi oslovila a vidím v ní velký přínos pro zvýšení celkové účinnosti celého systému a také v ní vidím budoucnost.

Tato práce by měla posloužit jako průvodce technologiemi ORC těm, které tato problematika zajímá, nebo těm, kteří zvažují, zda by jejich provozu mohla či nemohla přinést zvýšení účinnosti jejich stávající technologie.

## 2. Organický rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) je založen na bázi klasického Rankin – Clausiova cyklu (RC) parních turbín.

Primárním rozdílem mezi ORC cyklem a R-C cyklem je ten, že zde není použita voda jako pracovní médium, ale místo ní je použito jako pracovní médium organické látky resp. látky organického původu. Jedná se o různé formy uhlovodíků, které mají bod varu nižší než je bod varu vody. Díky použití tohoto pracovního média je možné v R-C cyklu přeměnit i nízkopotencionální zdroje energie. Zdroje této nízkoteplotní energie mohou být např. paroplynové cykly, spalování biomasy,



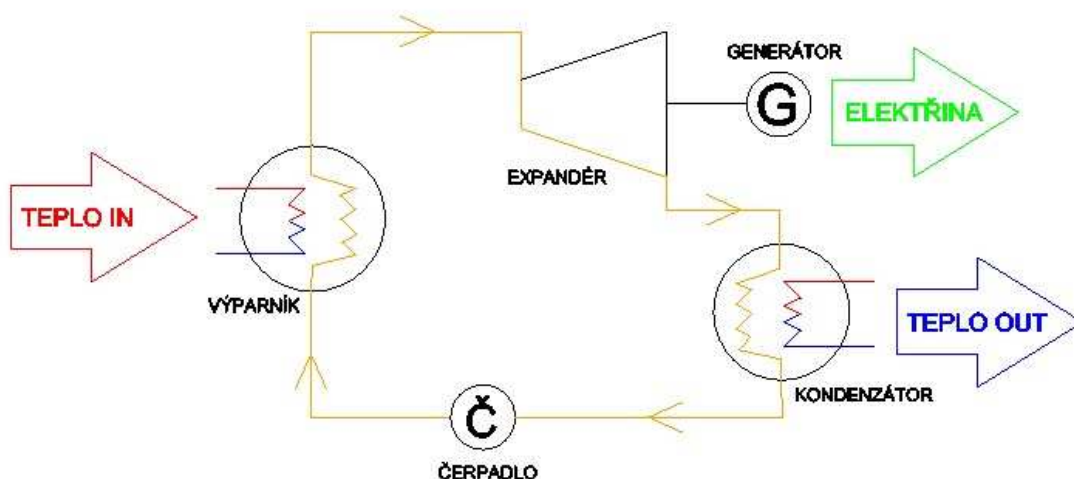
spalování bioplynu, geotermální energie, technologické odpadní teplo a solární energie.

Tuto energii dále přeměňujeme dále na mechanickou energii, např. ve šroubovém kompresoru a potom dále na energii elektrickou.

Průkopníky technologie ORC byli fyzik Harry Zvi Tabor a Lucian Bronick. Jednalo se o odborníky v solární technice a navrhli první prototyp, který prezentovali na konferenci v Římě v roce 1961. Bohužel se však tento projekt komerčně neuchytil.

## 2.1 Princip ORC

Zjednodušeně řečeno je princip ORC cyklu stejný jako princip R-C cyklu. Pracovní médium je ohříváno skrze výměník tepla. Ohříváno je různým zdrojem energie. Tento zdroj může být například odpadní chladicí voda bloku motoru, horká voda na výstupu z paroplynového cyklu, horká voda z geotermálního vrtu apod. Tento zdroj energie nám dodá potřebnou energii k odpaření pracovní látky, která projde skrze turbínu. Pak tato pracovní látka zkondenzuje zpět na kapalinu za pomoci chladicího činitele. Tento cyklus se za provozu daného zařízení opakuje nekonečně dlouho resp. tak dlouho, dokud je dostupný zdroj energie a dané zařízení nevykazuje žádnou poruchu, která by bránila provozu.



Obr. 2.1 Oběh ORC jednotky

Zdroje energie pro ORC:

- Geotermální
- Solární
- Biomasa
- Chladicí voda z KGJ
- Paroplynový cyklus
- Jakýkoliv zdroj energie v podobě spalín či vody o využitelném potenciálu

Vzhledem k tomu, že takovéto zařízení se kvůli maximální efektivnosti a co nejrychlejší ekonomické návratnosti snažíme provozovat ideálně nonstop, tak musíme zachovat jisté kondenzační podmínky jak v zimě, tak hlavně v letních měsících.

Zjednodušeně řečeno potřebujeme zajistit maximální  $\Delta T$ . Čím vyšší je  $\Delta T$ , tím vyšší je účinnost celého zařízení a tím vyšší je elektrický výkon, který ze zařízení získáváme.

Zdroje chladu pro ORC jednotky mohou být buďto chladicí věže, adiabatické vrtulové chladiče, podzemní vody, říční vody atd.

V praxi se nejčastěji v menších provozech používají stacionární adiabatické chladiče a ve větších průmyslových provozech se využívá chladicích věží.

Ideální je samozřejmě chladicí věž, ale ta se vzhledem k vysoké investici používá jen tam, kde je již realizovaná z důvodu hlavní technologie.

Zdroje chladu pro ORC technologii:

- Chladicí věže
- Adiabatické chladiče
- Podzemní vody
- Říční vody

## 2.2 Rozdělení ORC jednotek

Vzhledem k letitému vývoji ORC jednotek můžeme v dnešní době nalézt velmi rozsáhlé množství typů a provedení těchto zařízení.

Můžeme je rozdělit do několika základních typů.

*Rozdělení dle využívaného tepla:*

- Nízkopotenciální teplo: jedná se o jednotky, které využívají zdroje tepla do maximální teploty 116°C

- Vysokopotenciální teplo: jedná se o jednotky, které využívají zdroje tepla, které mají teplotu nad 120°C

*Rozdělení dle typu teplotnosného média:*

- spaliny
- voda
- pára

*Rozdělení dle typu pracovní látky:*

- Genetron R245fa
- Silikonový olej
- Termolej
- Butan
- Toluén

*Rozdělení dle expandéru:*

- radiální turbína
- pístový
- Scroll systém
- Dvojitý šroubový
- Pneumatický

*Rozdělení tepelného příkonu:*

- Malé: do 1000 kW<sub>th</sub>
- Střední: od 1000 kW<sub>th</sub> do cca 10000 kW<sub>th</sub>
- Velké: nad 10000 kW<sub>th</sub>

*Rozdělení množství vyrobené elektrické energie:*

- Nízký výkon: do 100 kW<sub>e</sub>
- Střední výkon: od 101 kW<sub>e</sub> do 900 kW<sub>e</sub>
- Vysoký výkon: nad 900 kW<sub>e</sub>

## 2.3 Pracovní cyklus ORC

V této kapitole bych rád popsal pracovní cyklus ORC jednotky, která jako pracovní látku využívá R245a. Oběh se skládá z pěti základních částí:

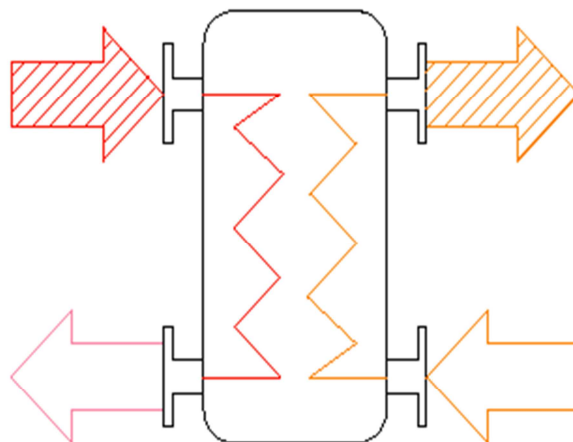
- čerpadlo
- výparník
- expandér
- kondenzátor
- generátor

V trubkování za kondenzátorem kapalina míří do čerpadla v podobě nízkotlaké kapaliny. Čerpadlo udělí této kapalině tlak a dopraví tuto látku do výparníku, čímž získáme zahřátou páru, která je schopna konat práci. Tato práce se projeví v podobě roztočení expandéru, který je přes hřídel nebo řemenici spojen s generátorem, který nám generuje elektrickou energii. Za expandérem máme nízkotlakou páru, která nám v kondenzátoru zkondenzuje zpět na nízkotlakou kapalinu. Kapalina se opět za pomoci čerpadla dostane do výparníku a tento cyklus se neustále opakuje do té doby, dokud máme zdroj energie pro příkon čerpadla a příkon tepelné energie v podobě energie dodané do výparníku v podobě horké vody, páry apod.

## 2.4 Výparník ORC jednotky

Výparník je pájený deskový výměník, kde předává tepelnou energii voda z kogenerační jednotky. Jedná se o chladicí vodu bloku motoru, která je navíc přehřívána spalínovým výměníkem. Toto teplo předá pracovní kapalině, které se ohřeje z teploty cca 24°C na teplotu 96°C.

Z výparníku pracovní látka pokračuje dále na turbínu. Pracovní látka vstupuje do výparníku jako kapaliny a vystupuje jako přehřátá pára.

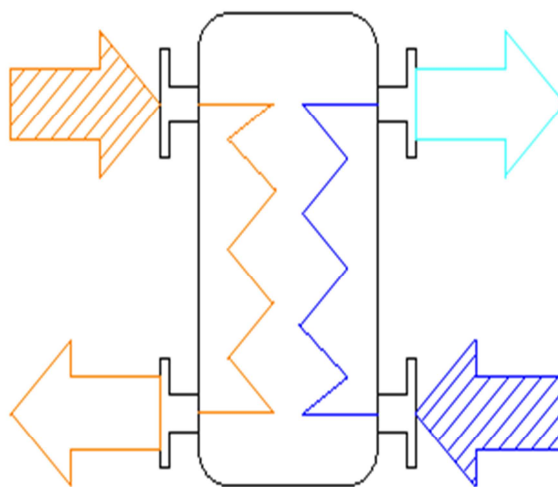


Obr. 2.2 Výparník ORC jednotky - schéma

Celý tento proces můžeme vidět názorně na [2.2].

## 2.5 Kondenzátor ORC jednotky

Kondenzátor ORC jednotky je také pájený deskový výměník, kde na „teplé“ straně výměníku vstupuje nízkotlaká pára pracovní látky a vystupuje z něj ve formě zkondenzované kapaliny. Na „studené“ straně výměníku je do něj dodávána chladicí voda, která může být přiváděna např. z chladicích věží, říční vody, adiabatických chladičů apod. Z výměníku na „studené“ straně vystupuje chladicí ohřátá o to, co ji předalo pracovní médium při kondenzaci.



*Obr. 2.3 Kondenzátor ORC jednotky - schéma*

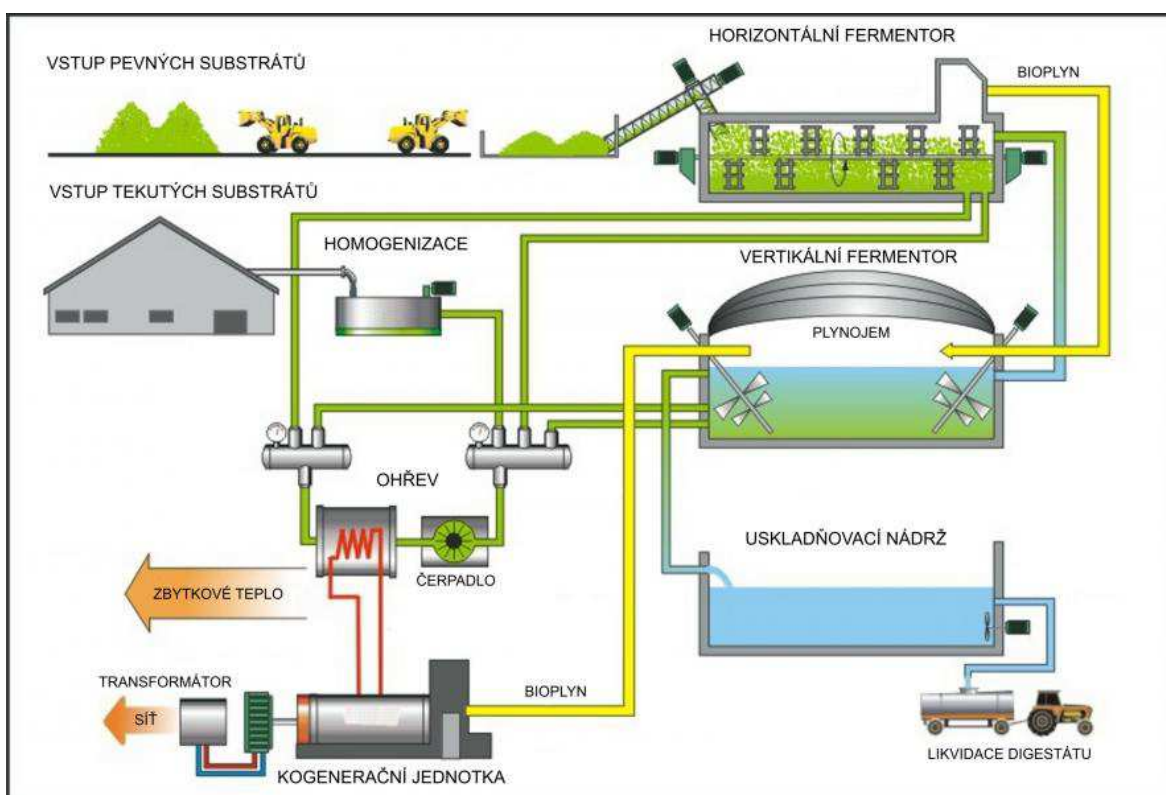
### 3. Bioplynové stanice

Bioplynové stanice (BPS) jsou velmi složité technologické celky, které zpracovávají biologicky rozložitelný odpad.

BPS jsou složeny ze spousty dílčích technologií. Od technologií na dopravu, přes technologie na vlastní výrobu resp. tvorbu bioplynu, až po jeho následné zpracování ve spalovacím plynovém motoru resp. v kogenerační jednotce (KGJ). Dále technologie BPS obsahuje i skladové hospodářství (substrátu, plynu atd.).

### Základní části BPS:

- váha substrátu
- fermentor
- kompostárna
- sklad substrátu
- fléra
- kogenerační jednotka
- velín BPS



*Obr. 3.1 Technologické schéma BPS [2]*

### 3.1 Základní rozdělení bioplynových stanic

Bioplynová stanice je velmi sofistikovaný systém a jako takový může být proveden ve spoustě typů provedení. Vždy záleží na řešení pro konkrétní dané podmínky. Před samotnou stavbou stanice se provádí důkladná studie proveditelnosti, kde dojde k propočítání celkové ekonomiky této stavby. Na druhou stranu ale můžeme říci, že každá bioplynová stanice vychází ze stejného základu.

Globálně můžeme bioplynové stanice rozdělit dle druhu zpracovávané suroviny na komunální, zemědělské a průmyslové. [7]

#### Bioplynové stanice komunální:

Tento druh bioplynových stanic využívá jako hlavní suroviny odpad. Jedná se o odpad v podobě zbytků jídla z domácností, z gastronomických zařízení, zpracovaný odpad z veřejné zeleně atd. Problém u tohoto odpadu je, že může vznikat velmi nepříjemný a okolí otravující zápach. Proto je nutné toto technologicky ošetřit tak, aby se tento jev minimalizoval na únosnou míru. To znamená dost vysoké investiční náklady v podobě uzavřených hal, které mají dokonale vyřešenu vzduchotechniku. Další problém je ten, že u nás zatím neexistuje žádný trh s bioodpady.

Pokud tyto aspekty shrnu, tak dle mého názoru, je ten typ bioplynových stanic v našich zeměpisných končinách málo využitelný. Realizovat ji mohou pouze za předpokladu velkého a pravidelného příjmu vstupní suroviny. Velký smysl by tento typ stanic mohl mít, a má, ve velkých městských aglomeracích, kde žijí řádově desítky milionů lidí. [7]

#### Výhody:

- přeměna odpadu v energii
- zpracování odpadů
- finanční příjem za zpracovávaný odpad

#### Nevýhody:

- vysoké investiční náklady
- zápach
- velice komplikovaný povolovací proces
- složitá technologie
- zajištění surovin



### Zemědělské bioplynové stanice:

V České Republice má zemědělství dlouholetou tradici. Existuje u nás spousta zemědělských družstev a spolků. To má za následek, že od roku 2007 vznikla spousta bioplynových stanic, které označujeme za zemědělské. Jedná se o u nás nejrozšířenější typ bioplynových stanic vůbec.

Tyto stanice využívají jako hlavní zdroj vstupní suroviny zemědělské plodiny, které si dané družstva a spolky vypěstují svépomocí nebo využívají odpady spojené se zemědělskou výrobou. První místo v těchto vstupních surovinách hraje kukuřice. Dále je hojně využíváno kejdy a hnoje. Kukuřice, jako taková, je vypěstovaná plodina. Hnůj a kejda je odpad, který vzniká v živočišné výrobě. Zde se trochu dostáváme do rozporu, kdy je používána plodina pro výrobu elektřiny a tepla, která lze využít jako potravina. Někdo by v tomto mohl vidět morální problém nebo minimálně by mu to mohlo přijít velmi nelogické. O této problematice se rozepíší v další kapitole. [7]

#### Výhody:

- nízké investiční náklady
- prověřená technologie
- jednoduchý povolenací proces
- zpracování živočišného odpadu
- možnost využití použitého digestátu jako hnojiva

#### Nevýhody:

- nutnost cíleného pěstování energetické plodiny (kukuřice)
- výkyvy ceny plodin
- závislost na úrodě
- problém s efektivním využitím vyrobeného tepla

### Průmyslové bioplynové stanice:

Průmyslové bioplynové stanice jsou speciální případy, kde dochází ke zpracování nebezpečných nebo jinak problematicky využitelných odpadů. Jedná se o odpady z kafilerií, z čistíren odpadních vod, kdy mohou být zpracovávány kaly. Jedná se o velmi náročné stavby, jak po stránce technologické, tak po stránce investiční. Další otázkou je celková ekonomičnost takového zařízení. [7]

### 3.2 Racionalita výroby energie v BPS

Bioplynová stanice, jako efektivní prostředek pro výrobu elektrické a tepelné energie z odpadních materiálů, je velmi přínosná a chytrá technologie. Problém může nastat, když se taková stanice nedělá primárně pro využití takového odpadu, ale jde se na to úplně z jiné strany a je to čistě pragmatický prostředek pro výtěžnou činnost. Tento problém, resp. tato situace často nastávala hlavně v dobách masivní dotační politiky evropské unie a státu, kdy se úplně nehlédlo na lokální podmínky a na to, zda stávající zdroje vstupních surovin jsou pro daný projekt dostatečné. Přijde mi dosti zbytečné a zvrácené vyrábět elektřinu např. z osivové kukuřice. Zemědělství by mělo mít za primární cíl budovat komodity, jako jsou obilniny, kvůli následnému prodeji těchto komodit do potravinářství. Existuje mnoho případů bioplynových stanic, kde vlastní zdroje vstupní suroviny nejsou dostatečné a daný provoz si musí komoditu pro tvorbu bioplynu zajistit u třetích stran. Zažil jsem ve své praxi několik případů, kdy se vozila kukuřice z jedné strany republiky na její druhý konec, aby nejmenovaná BPS mohla vyrábět bioplyn a tím i vydělávat nemalé finanční částky. Toto si myslím není ten pravý smysl výstavby bioplynových stanic. Samozřejmě někdy není zbylí, protože nikdo z nás nevidí do budoucnosti a s úrodou se může stát cokoli. Z tohoto důvodu má obrovský význam a smysl taková bioplynová stanice, která využívá jako vstupní surovinu kejdu a hnůj. Je to velmi dobrá vstupní surovina, která vzniká v živočišné výrobě vždy.

## 4. Bioplyn

Bioplyn je jedním z nejracionalnějších a nejperspektivnějších ze všech plyných biopaliv. Předností veškerých metod na výrobu bioplynu jsou, že plní dvě nezastupitelné funkce:

- Zpracovávají organické odpady rostlinného původu s vyšší vlhkostí, často doplněné i o odpady živočišné na kvalitní organické hnojivo, které je použitelné bez nežádoucích účinků, jaký mohou mít například čerstvá kejda, slamnatý hnůj nebo čistírenské kaly.
- Bioplyn, který má obsah metanu ( $\text{CH}_4$ ) až 65% a vodíku ( $\text{H}_2$ ) a zanedbatelným množstvím relativně lehce odstranitelného oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) a menšího množství oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) vytváří velmi hodnotné palivo. Bioplyn by se na základě jeho výhřevnosti dal připodobnit zemnímu plynu, resp. bioplyn se zemnímu plynu blíží. Má asi 70% jeho výhřevnosti

s ohledem na podíl  $\text{CO}_2$  a vodních par. Teoreticky je možné bioplyn technologicky upravit na čistý metan, ale v praxi toto není zatím využíváno, protože počáteční výhřevnost je dostačující pro pohon motorů. [3]

Základem při tvorbě bioplynu tj. metanu, je rozklad organických látek v několika fázových stupních, které mohou v souhrnu trvat asi 4 týdny, při teplotách okolo  $37^\circ\text{C}$ , což je teplota trávicího traktu živočichů, zejména přežvýkavců, jejichž trávení představuje prakticky stejný proces.

Zásadní podmínkou tohoto procesu je jeho průběh za nepřístupu vzduchu. Tuto teplotu je nutno udržet, proto při kapalných procesech, které dnes převládají a při obsahu sušiny 8 až 12%, je nezbytné reaktory přehřívat. K tomu se v zimním období využívá až 30% vyrobeného tepla. Tvorba bioplynu probíhá všude tam, kde bez přístupu vzduchu, nebo po vyčerpání kyslíku ve hmotě, dochází k rozkladu organických látek činností řady mikroorganismů. [3]

## 4.1 Vlastnosti bioplynu

Bioplyn je směsí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  a malého množství vodních par. Nejvíce obsažen v bioplynu je metan a to v 55-70%. Průměrné složení bioplynu je uvedeno v následující tabulce:

<i>Složka</i>	<i>Obsah v %</i>
Methan $\text{CH}_4$	45 - 75%
Oxid uhličitý $\text{CO}_2$	25 - 48%
Vodík $\text{H}_2$	0 - 3%
Sulfan $\text{H}_2\text{S}$	0,1 - 1%
Dusík	1 - 3%
Amoniak	stopy

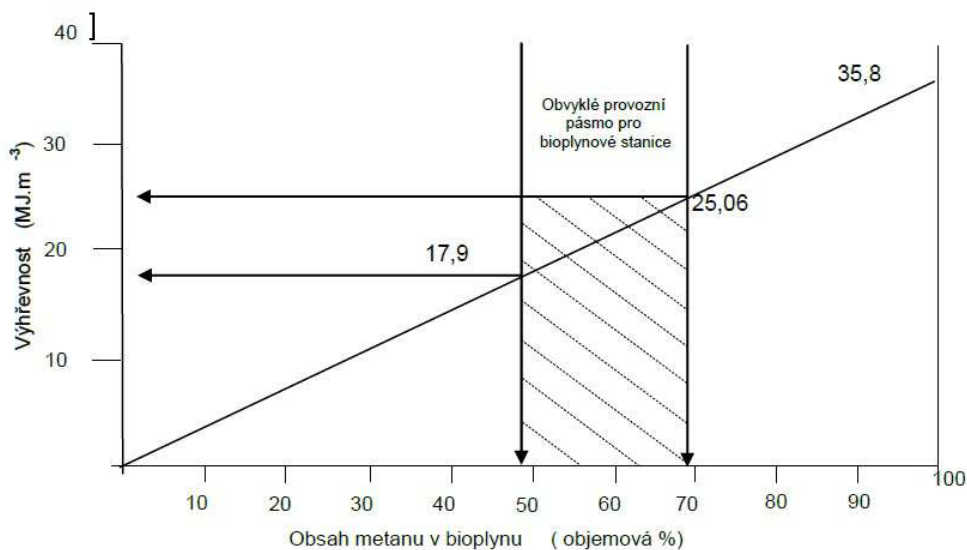
Tab. 4.1 Složení plynu [1]

Základní vlastnosti bioplynu a jeho jednotlivých složek

<b>Základní vlastnosti</b>		<b>Bioplyn (60% CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Metan CH<sub>4</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>
Objemový podíl	%	100	45-75	25-48	0 až 3	0,1-1	stopy	1 - 3
Výhřevnost	MJ.m <sup>-3</sup>	21,5	35,84		10,8	22,8		
Práh vzplanutí	obj. %	6-12	5-15		4-80	4 - 45	16	
Teplota zapálení	°C	650-750	650-750		585			
Měrná hmotnost	kg.m <sup>-3</sup>	1,2	0,714	1,977	0,09	1,54	0,771	1,25

Tab. 4.2 Základní vlastnosti bioplynu a jeho jednotlivých složek [1]

Závislost výhřevnosti bioplynu na procentuálním obsahu metanu je uvedeno na obr. [4.1]. Z grafu je patrné, že výhřevnost se pohybuje v rozmezí 18-25 MJ.m<sup>-3</sup>.

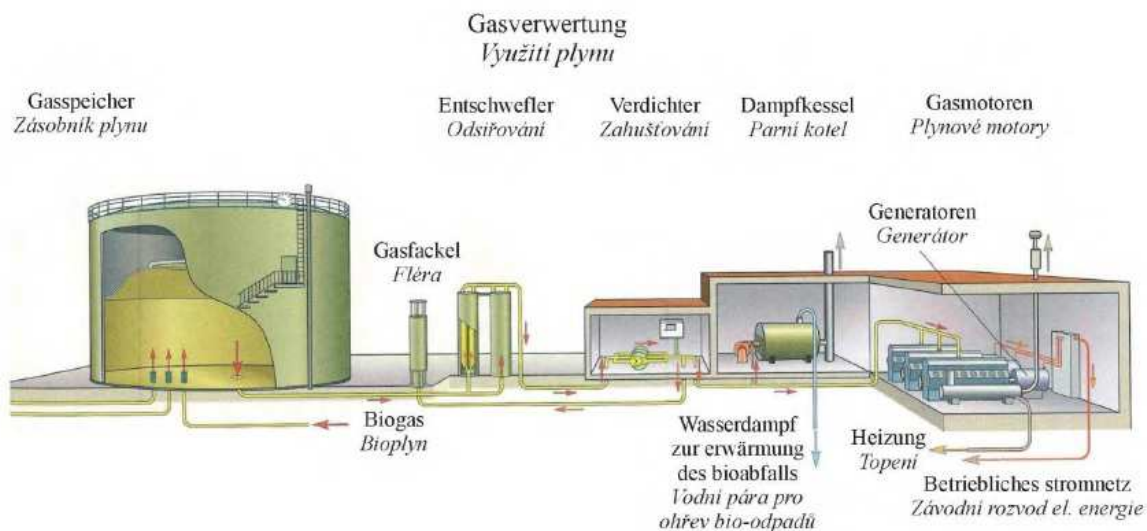


Obr. 4.1 Závislost výhřevnosti na obsahu metanu v bioplynu [3]

**4.2 Využití bioplynu**

Využití bioplynu můžeme rozdělit na 4 základní způsoby:

- přímé spalování k výrobě tepelné energie
- kombinovaná výroba tepla a elektrické energie (kogenerace)
- výroba pohonných hmot
- energetické využití bioplynu



Obr. 4.2 Cyklus plynu [3]

Technologie výroby bioplynu v dnešní době představuje významnou rezervu energetiky a zaslouží si zvýšenou pozornost. V kombinaci s výrobou dřevních plynů může pro některé oblasti znamenat úplné odbourání dováženého zemního plynu. Investice, které jsou v tom případě potřebné, se tak mohou velmi rychle navrátit. [1]

### 4.3 Výroba bioplynu

#### Anaerobní digesce

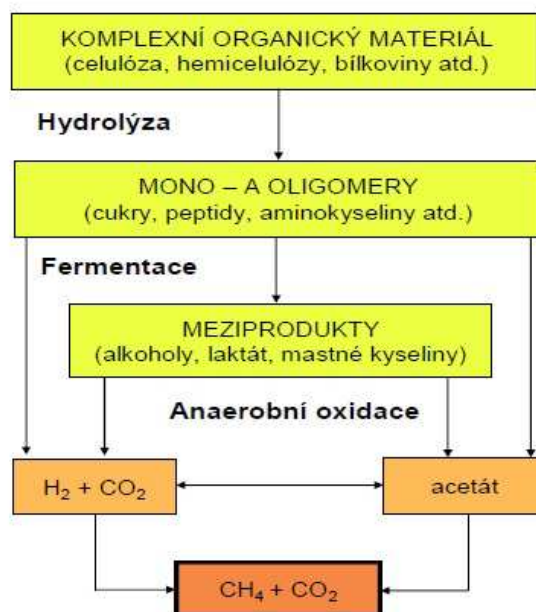
Anaerobní digesce lze efektivně řešit využitím biologicky rozložitelných odpadů z různých odvětví (průmysl, komunální sféra, zemědělství, potravinářský průmysl, gastronomická zařízení apod.), za zisku tří hlavních produktů:

- *bioplyn* – směs několika plynů, která je schopna hořet, je využitelný jako energeticky bohaté palivo. Jedná se o směs  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Největší zastoupení má metan s obsahem 55-70%
- *digestát* – tuhý stabilizovaný vyhnílý kal, nerozložené organické látky vláknitého charakteru, který se využívá jako organické hnojivo
- *perkolát* – tekutina vznikající při procesu, obsahuje základní živiny. Používá se jako tekuté hnojivo v zemědělství.

Podmínkou využití digestátu a perkolátu jako organického hnojiva je nepřekročení limitních hodnot obsahu rizikových látek dle platné legislativy. Digestát lze využívat jako organické hnojivo, pokud obsahuje  $\text{mi. } 25\%$  spalitelných látek a  $0,6\%$  dusíku v sušině, nebo může být použitý jako surovina k výrobě kompostů. Požadavky a kritéria pro hodnocení a kontrolu digestátu uvádí vyhláška č. 341/2008 Sb., v příloze č. 5.

Proces anaerobní digesce se skládá ze čtyř na sobě závislých základních fází, které liší nejen podílejšími se mikroorganismy a vznikajícími produkty, ale i podmínkami pro jejich existenci:

- Hydrolýzní fáze – rozklad rozpuštěných i nerozpuštěných organických polymerů – uhlovodanů (škrob, celulóza a hemicelulóza), bílkovin, polysacharidů a tuků působením mikroorganismů (nejedná se ještě o metanové bakterie, ale o bakterie fermentační) na nízkomolekulární látky, jako jsou jednoduché cukry, peptidy, glycerin, vyšší mastné kyseliny a aminokyseliny.
- Acidogenní fáze – tvorba kyseliny octové, která je spojovacím prvkem pro produkci metanu. Homoacetogenní organismy produkující vodík rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny vyšší než kyselinu octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Také zde jsou zastoupeny i minoritní složky organismů (sulfátreduktanty, nitrátreduktanty) produkující kromě kyseliny octové a vodíku také sulfan a dusík.
- Metanogenese – metanogenní organismy kromě toho, že rozkládají některé jednoduché látky (methanol, kyselinu mravenčí, methylamim,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , Co) jsou limitujícím faktorem celého procesu. Tyto organismy lze rozdělit pouze na hydrogenotrofní, nebo pouze acetotrofní. Acetotrofní metanogenní bakterie se podílejí svým působením na vzniku metanu v bioplynu a to více jak dvěma třetinami. Jsou schopny rozkládat kyselinu octovou na směs metanu a  $\text{CO}_2$ . Pomaleji rostou (generační doba několik dní). Hydrogenotrofní metanogenní bakterie jsou schopny produkovat metan z  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$ . Poměrně rychle rostou, jejich generační doba je cca 6 hodin. V anaerobním procesu fungují jako samoregulátor. [1]

Čtyřfázový model anaerobního vyhnívání

Obr. 4.3 Čtyřfázový model anaerobního vyhnívání [1]

**4.4 Zpracovatelné vstupy v bioplynové stanici**

V bioplynových stanicích (BPS) je možno efektivně zpracovávat širokou škálu biologických odpadů a různých materiálů, včetně těch, které jsou obvykle velmi obtížně zpracovatelné:

- Bioodpady z údržby zeleně (tráva, listí, ale nikoliv dřevo)
- Bioodpady z domácností a ze zahrad
- Prošlé potraviny a bioodpady z obchodních center a supermarketů
- Zbytky z jídelen, restaurací a hotelů
- Bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, „brambůrkárny“, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty atd.)
- Výstupy z chovu hospodářských zvířat (hnůj, kejda, podestýlka atd.)
- Cíleně pěstovaná biomasa (kukuřice, senáž, řepa, vojtěška atd.)

Důležité je, aby u surovin a materiálů určených ke zpracování v BPS byly zachovány požadavky na kvalitu, která by měla být průběžně kontrolována. Standardním základem pro zemědělské BPS by měly být zvířecí exkrementy a hlavním vstupem z hlediska výtěžnosti bioplynu by pak měly být cíleně pěstované plodiny. Zejména je osvědčeno používání kukuřičné siláže. V některých vhodných případech lze zpracování vstupů rozšířit i na biologicky rozložitelné odpady, např. z potravinářského průmyslu nebo tříděné bioodpady z domácností. Jedná se o vstupy energeticky zajímavé a jsou často zdrojem příjmů za jejich zpracování. Na některé

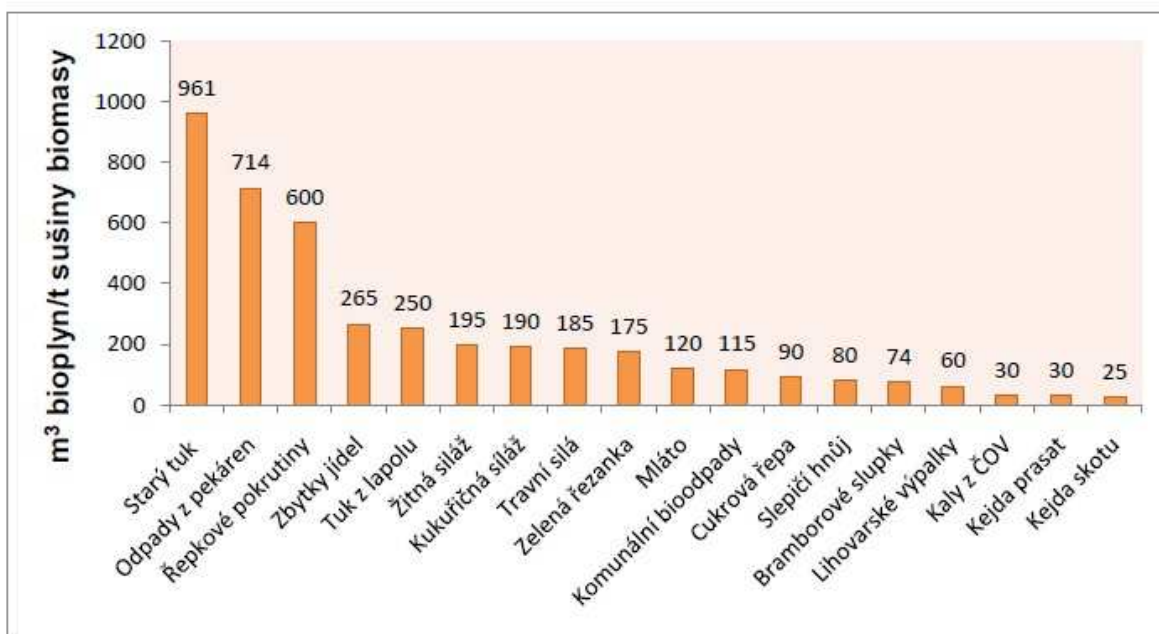


bioodpady živočišného původu se vztahuje Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002, které stanovuje hygienická pravidla na jejich zpracování. [1]

## 4.5 Závislosti produkce bioplynu

Při zajišťování surovin je třeba zvážit, jaké vlastnosti se nejvíce podílejí na produkci bioplynu. V první řadě je to množství sušiny materiálu. Měrná produkce bioplynu se často udává právě na sušinu, nebo je vztažena k určité průměrné sušině. Především u exkrementů a odpadů nelze spoléhat na tabulkové hodnoty v původní hmotě, ale je třeba zajistit obsah sušiny konkrétního materiálu, např. obsah sušiny kejdy může v závislosti na použité technologii a míře dodržování technologické kázně kolísat mezi 8 – 3 %, což může znamenat značný rozdíl produkce bioplynu na jednotku hmotnosti v původní hmotě.

Produkce bioplynu z jednotlivých druhů vstupů do BPS se výrazně liší. Obrázek [4.4] ukazuje hodnoty teoretické výtěžnosti u jednotlivých surovin. Výtěžnost bioplynu významně závisí jednak na vlastnostech a kvalitě vstupního materiálu, a jednak musí být vždy vyhodnocena podle konkrétních podmínek (např. způsob provozu zařízení, výše a stabilita teploty v reaktoru, doba zdržení). Z tohoto důvodu dochází i u stejných substrátů ke značným rozptylům hodnot ve výtěžnosti bioplynu. [1]



Obr. 4.4 Graf výtěžnosti plynu [1]

### Optimální složení surovinové směsi

Fermentor, ve kterém probíhá samotný proces anaerobní digesce, je možné přirovnat k žaludku (bachoru), ve kterém jsou za pomoci několika druhů kultur mikroorganismů vstupní materiály postupně zpracovány až na výslednou produkci bioplynu. Jedná se tedy o živý proces, který dovede být citlivý na kvalitu a na změnu podmínek prostředí (zejména konstantní teplota ve fermentoru a pH). Chybná „výživa“ a nevhodné podmínky, proto mohou vést k redukci výnos z bioplynu, popř. až k zastavení fermentačních procesů.

Materiály s větším množstvím bílkovin či jiné složky s vyšším obsahem dusíku mohou v reaktoru působit negativně na aktivitu anaerobních společenstev a snížit tak produkci bioplynu. Toto nebezpečí hrozí např. u nevhodného dávkování drůbežích podestýlek, jatečních odpadů, masokostní moučky apod. Materiály jako kukuřice, hnůj či kejda mají naopak vhodný obsah dusíku a podobné obtíže jsou omezeny na minimum. Pro optimální chod je nutné držet co nejvíce jednotné složení vstupních surovin a přechody mezi jinými materiály dělat pouze pozvolna a v řádu měsíců. U různých technologií je míra flexibility samozřejmě rozdílná. [1]

## **4.6 Faktory ovlivňující proces tvorby bioplynu**

Jakýkoliv anaerobní proces je limitován danými faktory, které je nutné dodržet pro kvalitní průběh procesu. Mezi tyto faktory patří:

- Teplota procesu – má přímou závislost na různé kmeny bakterií: bakterie psychrofilní 15 – 20°C, bakterie mezofilní 35 – 40°C, bakterie termofilní 55°C. V zařízeních na výrobu bioplynu se nejčastěji používají mezofilní teplotní režimy, v menší míře termofilní, nebo kombinované. Volba teploty je závislá na režimu práce fermentoru. Vzhledem k tomu, že metanogenní bakterie citlivé na prudké výkyvy teplot, musí se teplota přísně dodržovat.
- Hodnota pH – hodnota, která je velice důležitým faktorem pro průběh procesu. Růst metanogenních bakterií je v neutrální oblasti pH 6,5 – 7,5. Vysoká kyselost působí na tyto bakterie inhibičně.
- Přítomnost nutrientů – ethanové bakterie nemají schopnost rozkládat tuky, proteiny, uhlovodíky a celulózy v čisté formě. Pro stavbu svých buněk potřebují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky ve správném poměru. Tento potřebný poměr živin se udává jako CHSK : N : P v rozmezí od 300 : 6,7 : 1. Kromě dusíku a fosforu jsou žádoucí také

prvky (Na, K, Ca, Se, Ni, Co, Mo), které nám mohou zvyšovat metanogenní aktivitu.

- Přítomnost toxických a inhibujících látek – látky, které se nejčastěji vyskytují a mohou negativně ovlivnit proces anaerobní digesce, jsou amoniak a mastné kyseliny. Jejich tvorba je závislá na podmínkách pH. [1]

## 4.7 Řízení a stabilita procesu

Hlavními faktory nestability procesu jsou:

- teplotní změny
- změny v zatížení organickými látkami
- hydraulické přetížení
- expozice toxickými látkami
- změny ve složení substrátu

O stavu procesu informuje řada veličin, které můžeme analytickými nebo biologickými metodami sledovat. Tyto veličiny dle způsobu použití dělíme do dvou skupin:

- proměnné pro řízení procesu – veličiny pro řízení procesu. K těmto veličinám patří teplota, zatížení reaktoru, dávkování chemikálií
- indikátory stavu procesu – charakterizují průběh jednotlivých procesů nebo celkový průběh anaerobního rozkladu [1]

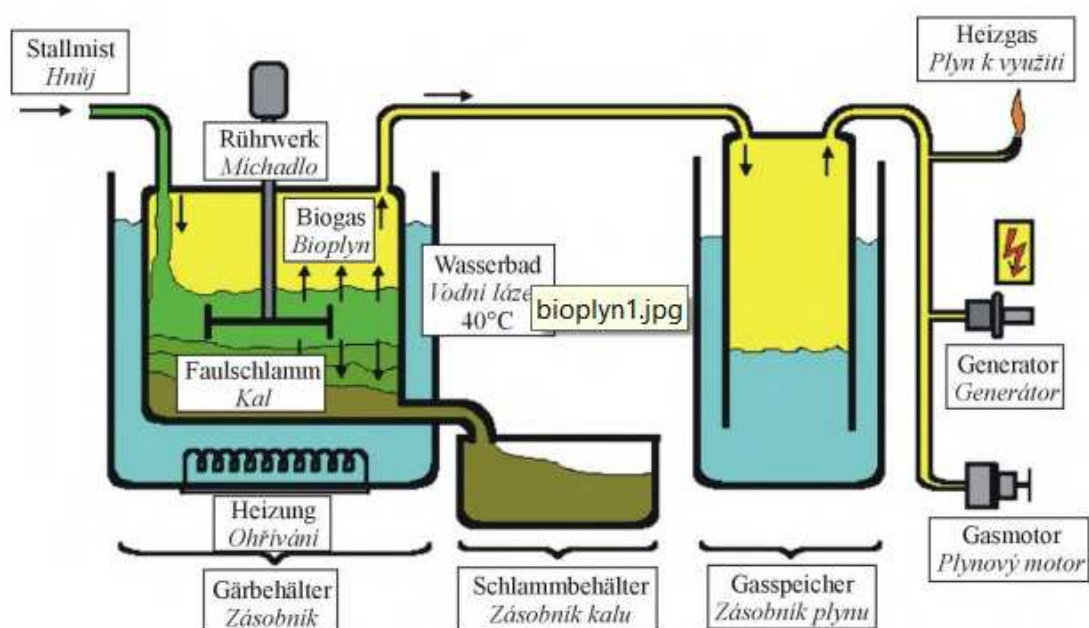
Význam některých proměnných:

- Produkce bioplyn: popisuje pouze výsledek procesu.
- Koncentrace CH<sub>4</sub>: bilanční prvek.
- Koncentrace CO<sub>2</sub>: nemá vždy vypovídající hodnotu stability procesu. Citlivější je poměr CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>.
- Koncentrace H<sub>2</sub>: vodík objevený v bioplynu signalizuje vždy nestabilitu procesu, proto se jedná o nejcitlivější indikátor nestability procesu.
- pH procesu: tato veličina není citlivým indikátorem procesu. Monitorování je důležité zejména u substrátů vykazujících nedostatečnou neutralizační kapacitu.
- Aktivita biomasy: řadí se spíše mezi diagnostické indikátory procesu, z hlediska značné pracnosti a časové náročnosti. Stanovení aktivity mikroorganismů je důležité z důvodu stanovení příčin nebo zhroucení systému. [1]

## 4.8 Základní rozdělení technologií BPS dle sušiny vstupního substrátu

### MOKRÁ FERMENTACE:

Využívá obvykle fermentoru s vertikální osou a materiál ve fermentoru má sušinu do 12%. Materiály s vyšším obsahem sušiny (hnůj, podestýlka, různé druhy siláží a senáží) se před vstupem do fermentoru ředí na odpovídající obsah sušiny buď kejdou, nebo procesní vodou. Větší obsah slámy nebo dokonce podestýlka na bázi pilin může u mokrých technologií působit vážné provozní problémy. Je tedy nutné pečlivě vážit použitou technologii, systémy míchání, přípravy suroviny tak, aby celý proces mohl bezproblémově fungovat. [1]



Obr. 4.5 Mokrý fermentace [3]

### SUCHÁ FERMENTACE:

Je vývojově mladší než mokrá fermentace, nicméně některé její typy již nalezly perspektivní uplatnění v praxi. Suchou fermentaci lze dle obsahu sušiny substrátu rozdělit na:

- suchý proces (25 – 45% sušiny)
- vysokosušinný proces (nad 40% sušiny)

Pod pojmem suchá fermentace se lze setkat s fermentory tzv. garážového typu. Jedná se o konstrukčně jednoduchá zařízení na zpracování vysokosušinných substrátů (až 60%), se vsázkovým způsobem plnění fermentoru pomocí čelního nakladače. Obecně lze konstatovat, že tyto typy zařízení se nerozšířily natolik, aby

byly dostatečně provozně odzkoušeny, a dosavadní zkušenosti nabádají k obezřetnosti. [1]

<b>+ Výhody anaerobní digesce</b>	<b>Nevýhody anaerobní digesce</b>
Omezení emisí skleníkových plynů	Vysoké finanční náklady na technologická zařízení a jeho provoz
Snížení znečištění životního prostředí	Náročnost sběru a svozu BRKO
Recyklace základních živin pro výživu rostlin	Možnost výskytu nebezpečných plynů (sulfan, amoniak)
Zvýšená efektivita nakládání s odpady	Hluk strojního zařízení
Ekonomické výhody plynoucí z možnosti výroby energie a minerálních hnojiv	Zápach při nedodržení správných technologických postupů

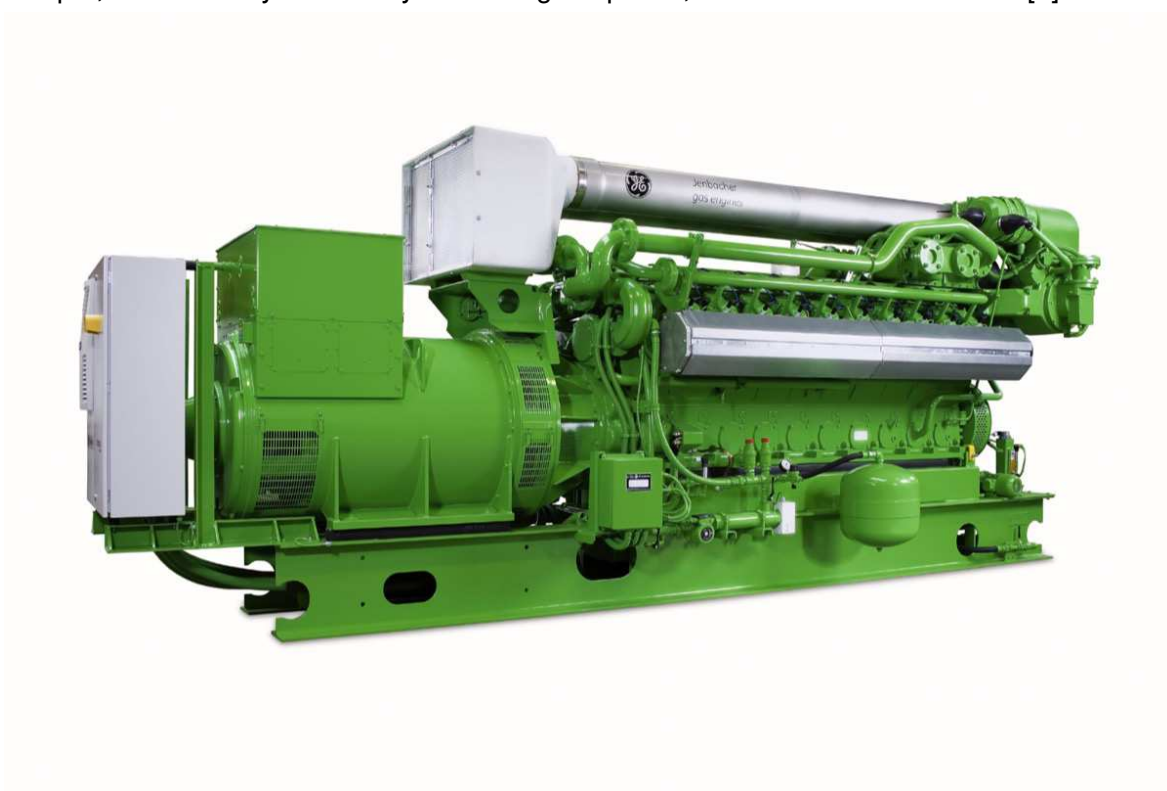
Obr. 4.6 Výhody a nevýhody anaerobní fermentace [1]

## 5. Kogenerace

Již řadu staletí je pro člověka velmi důležitá výroba tepla. Poslední desítky let je důležitá a nezbytná pro život člověka i výroba elektřiny. Teplo si člověk obvykle vyráběl již od pravěku v různých druzích lokálních topenišť až po velké kotelny a výtopny v moderní historii. Výroba elektrické a tepelné energie samostatně je vždy spojena se vznikem ztrát. Z tohoto důvodu, aby došlo ke snížení ztrát a tím pádem k celkovému navýšení účinnosti systému, byla vymyšlena kogenerace. Díky použití jednoho systému – kogenerační jednotky (KGJ) jsem schopen „generovat“ elektřinu i teplo najednou. U nás je tato výroba často nazývána jako KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla.

Celá tato výroba je podstatně účinnější než výroba tepla a elektřiny samostatně, nehledě na další přínos v podobě snížení emisní zátěže životního prostředí.

Hlavním cílem kogenerace je snížení spotřeby primárních energetických zdrojů (PEZ), kdy je využíváme efektivně. Se snížením této spotřeby pak souvisí snížení škodlivých emisí, jež vznikají při transformaci primárních energetických zdrojů PEZ do požadovaných forem energie. S kogeneračními jednotkami se můžeme setkat od výkonu řádově jednotek wattů až do stovek MW. Při společné výrobě elektřiny a tepla, dochází k vysokému využití energie v palivu, které může činit až 95%. [4]



Obr. 5.1 Kogenerační jednotka GE Jenbacher J320 [9]

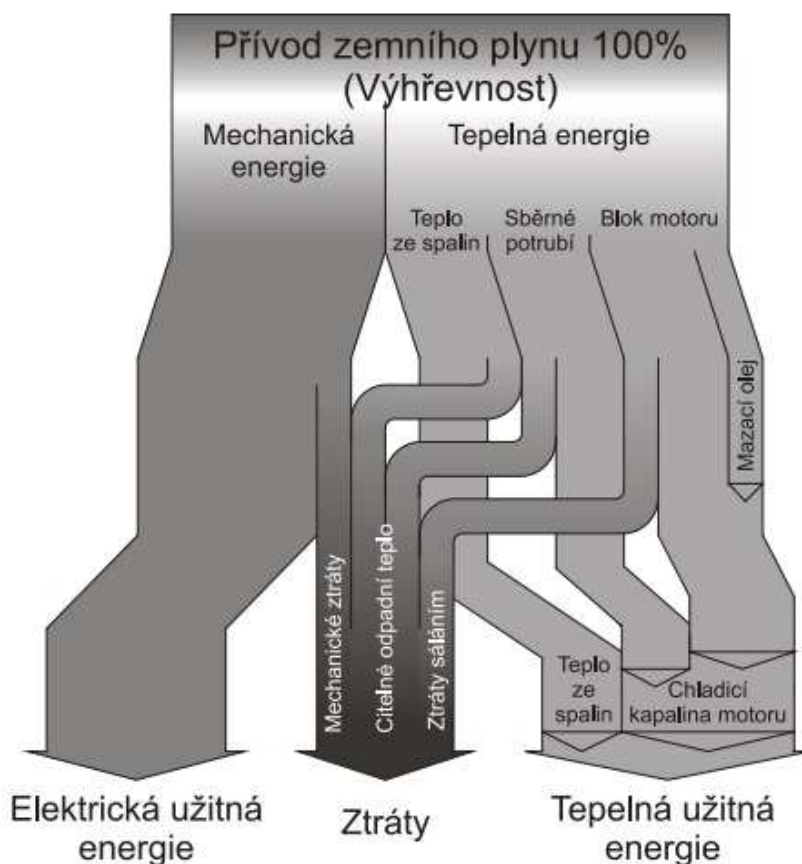
## 5.1 Energetická bilance kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka má jako každý energetický zdroj svou energetickou bilanci. Do kogenerační jednotky je dodáváno palivo (metan, zemní plyn apod.), která přeměňuje chemickou energii paliva na energii tepelnou a dále i na energii mechanickou. Můžeme tedy konstatovat, že přímo vyrobíme energii mechanickou a tepelnou. Tepelnou energii můžeme dále využít k topení, ohřevu atd. Tepelná energie je obsažena v teple spalin, ve sběrném potrubí a v teple bloku motoru. Využitelná tepelná energie je obsažena ve spalinách a v chladicí kapalině motoru (vodní náplň a olejová náplň KGJ).

Energii mechanickou přeměníme za pomoci generátoru na energii elektrickou, kterou dodáváme do sítě nebo k danému zdroji spotřeby.

Při kombinované výrobě elektřiny a tepla nám vzniká celá řada ztrát. Jsou zde mechanické ztráty (např. v ložiscích), citelné odpadní teplo (potrubím) a také ztráty sáláním (z motorového bloku).

Energetickou bilanci kogenerační jednotky můžeme vidět na následujícím obrázku:



Obr. 5.2 Energetická bilance kogenerační jednotky [5]



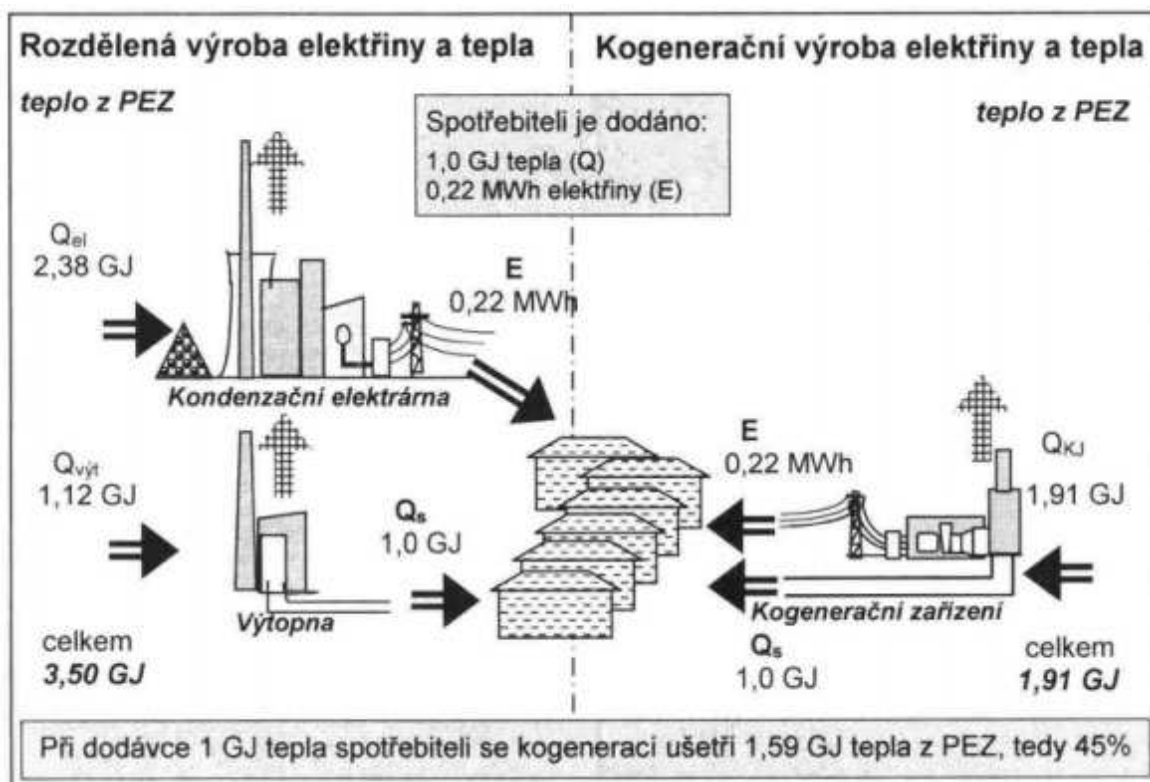
## 5.2 Energetická bilance odděleného a kombinovaného systému

Jak už jsem naznačoval v úvodu této kapitoly, která je věnována problematice kogenerace a kogeneračních jednotek, tak hlavní výhodou výroby elektřiny a tepla v kogeneračních systémech je snížení ztrát a snížení zatížení životního prostředí emisemi.

Příklad oddělené výroby může být například výroba elektřiny v kondenzační elektrárně spalující např. černé uhlí a teplo vyráběné v plynové kotelně. Předpoklad účinnosti výroby elektřiny včetně ztrát, které vznikají ve vedení ke spotřebiteli, 33% a účinnosti výtopny 90%. Pro názornost uvažujme, že chceme dodávat spotřebiteli 1 GJ tepla a také současně 0,22 MWh elektřiny. Kondenzační elektrárna při výrobě 0,22 MWh spotřebuje 2,38 GJ tepla z paliva, z toho 1,58 GJ odvede do okolí jako ztrátu. Plynová kotelná spotřebuje 1,12 GJ tepla z paliva při dodávce 1 GJ tepla spotřebiteli. Z toho vyplývá, že 0,12 GJ je odvedeno jako ztráta (převážně komínová).

Ve sdružené výrobě elektřiny a tepla – kogenerace se 0,22 MWh elektřiny a 1 GJ tepla vyrobí v jednom zařízení. Pro ilustraci uvažujme jako kogenerační zařízení například spalovací turbínu s kotlem na odpadní teplo, které vyrobí 1 GJ tepla a 0,22 MWh elektřiny při celkové účinnosti 90%. Z paliva spotřebuje 1,91 GJ, z toho 0,19 GJ je odvedeno do okolí jako ztráta (ztrátové teplo je odvedeno převážně výfukem spalin).

Když tyto dva druhy výroby porovnáme, tak z toho vyplývá, že v oddělené výrobě elektřiny a tepla se z paliva spotřebuje 3,5 GJ tepla a v totožné dodávce energie z kogenerace se spotřebuje 1,91 GJ tepla. Z toho tedy vyplývá, že ušetříme 1,59 GJ tepla, což znamená úsporu 45 % celkové spotřeby při oddělené výrobě elektřiny a tepla. Tato jasná čísla můžeme názorně vidět na obr. [5.3] Níže je patrné, že v kogeneračních systémech jsme schopni ušetřit až 45 % energie oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla. [6]



Obr. 5.3 Energetická bilance KVET a oddělené výroby elektřiny a tepla [6]

### 5.3 Členění kogeneračních jednotek

Vzhledem k neustálému vývoji kogeneračních jednotek v posledních dvaceti letech jsme dnes schopni najít širokou škálu využití této technologie. Vyrábějí se kogenerační jednotky malých výkonů v řádech jednotek wattů až po velké kogenerační systémy, které mají výkon v řádech jednotek až desítek megawattů. [6]

Každá kogenerační jednotka má 4 základní části:

- motor (pohonná jednotka)
- elektrický alternátor včetně zařízení pro připojení k síti
- výměník tepla nebo kotel včetně propojení k tepelné rozvodné síti
- kontrolní a řídicí systém

Druhy pohonů v kogeneračních jednotkách:

- spalovací motory
- parní turbíny
- spalovací turbíny
- paroplynová zařízení

Moderní druhy pohonných jednotek:

- systém založený na organickém Rankinově cyklu (ORC)
- Stirlingův motor
- mikroturbíny
- systém Talbott
- parní motory
- palivové články [6]

## 5.4 Oblasti použití kogeneračních jednotek

Oblasti použití kogeneračních jednotek můžeme rozdělit do několika skupin:

- malé kogenerační jednotky: jedná se převážně o zařízení, která se používají k vytápění jednotlivých budov nebo také i ke skupině více menších budov
- střední kogenerační jednotky: tato zařízení bývají použity ve středně velkých průmyslových objektech
- velké kogenerační jednotky spojené s výrobou vodní páry: používají se ve větších průmyslových provozech nebo k vytápění větších komplexů budov
- velké kogenerační jednotky spojené s teplárnami nebo spalovnami: jedná se o zdroje, které zajišťují dodávku tepla do soustavy centrálního zásobování tepla (CZT)
- kogenerační jednotky využívající obnovitelné zdroje paliva: spalovací motory využívající například bioplyn [6]

Další charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračních systému můžeme vidět v přehledné tabulce [5.1].

Pohonná jednotka	používané palivo	rozsah výkonů (MWe)	modul teplárenské výroby elektřiny	elektrická účinnost	celková účinnost	forma tepla
Odběrová parní turbína	libovolné	5 - 300	0,2 - 0,4	10 - 30 %	78 - 88%	NT pára horká voda
Protitlaková parní turbína	libovolné	0,1 - 100	0,1 - 0,4	7 - 20%	75 - 88%	NT pára horká voda
Spalovací turbína	zemní plyn lehký topný olej bioplyn produkty zplyňování	1 - 250	0,4 - 1,2	25 - 48%	75 - 90%	teplá voda horká voda pára NT, VT
Paroplynové zařízení	zemní plyn lehký topný olej bioplyn produkty zplyňování	10 - 400	0,8 - 2,0	35 - 60%	85 - 90%	teplá voda horká voda pára NT, VT
Spalovací motor	zemní plyn lehký topný olej bioplyn produkty zplyňování	0,01 - 10	0,5 - 1,1	25 - 45%	75 - 92%	teplá voda horká voda pára NT
Parní motor	biopaliva	0,02 - 1	0,1 - 0,3	10 - 25%	70 - 80%	teplá voda
Stirlingův motor	zemní plyn biopalivo	0,001 - 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40%	70 - 85%	teplá voda

Tab. 5.1 Charakteristika vlastností základních druhů kogeneračního zařízení [6]

## 5.5 Shrnutí výhod kogenerace

### Hlavní výhody kogenerace:

- *Úspora paliva:* Hlavní výhodou kogenerace je obrovská úspora paliva. Vzhledem k tomu, že kogenerační systém spotřebuje cca o 45 % méně paliva než rozdělená výroba elektřiny a tepla. To vše je způsobeno tím, že teplo i elektřina je vyráběna na jednom místě a z jednoho zdroje paliva. Díky úspoře paliva se také zvyšuje celková účinnost celého systému.
- *Snížení emisí:* Dále platí jednoduchá rovnice, že díky menšímu množství spotřebovaného paliva je také menší množství vypouštěných emisí.
- *Decentralizace:* Možnost využít kogenerace i v místech, kde není zavedena elektřina nebo jako záložní zdroj pro např. obchodní či výrobní provozy.
- *Obnovitelné zdroje:* Možnost využití alternativního paliva namísto zemního plynu. Jako palivo můžeme použít bioplyn, který získáme z biomasy, dřevní hmoty atd. [6]

## 6. Bioplynová stanice Žerotín a. s.

K řešení návrhu navýšení účinnosti bioplynové stanice jsem si vybral konkrétní zařízení, které se nachází ve městě Strážnice a byla spuštěna v roce 2012. Jedná se o zemědělskou BPS, kde používají jako vstupní surovinu kukuřici. Dále se zde snaží také zpracovávat odpady z různých provozů, jako např. z nedaleké brambůrkárny apod. Technologie této BPS je od společnosti EnviTec Biogas AG.



Obr. 6.1 Výrobní štítek BPS Žerotín a. s.

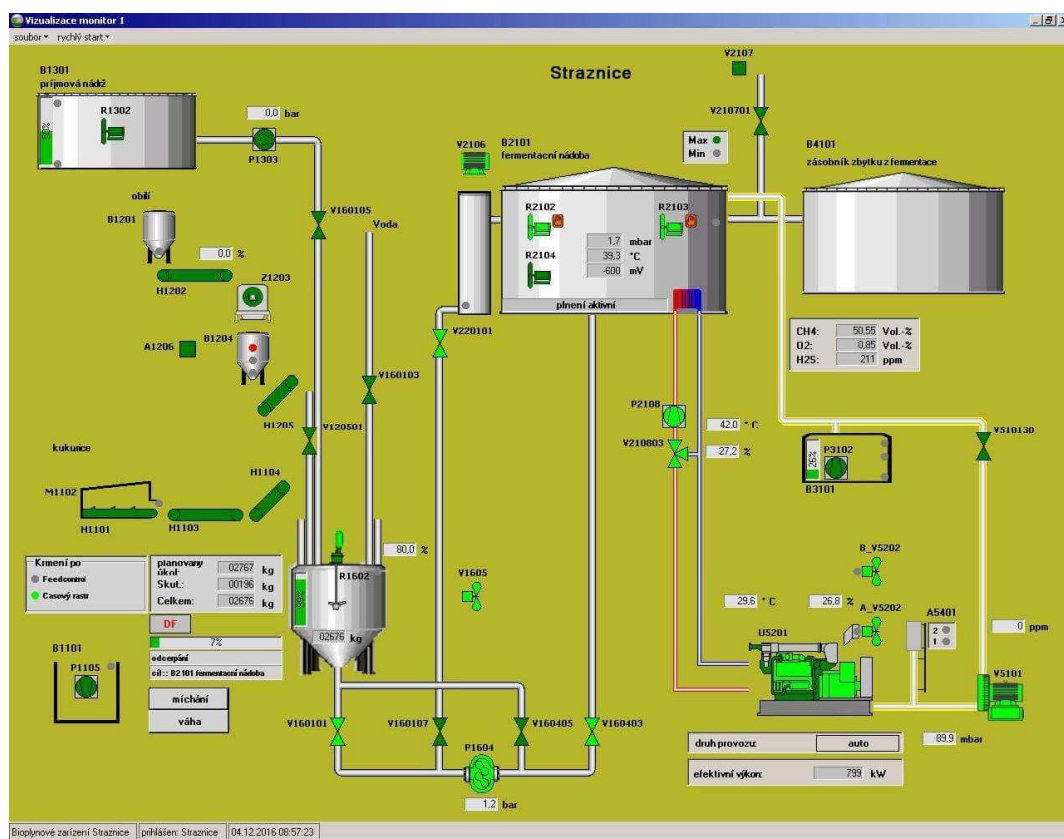
### Parametry kogenerační jednotky na BPS Žerotín:

- Výrobce: GE Jenbacher AG
- Typové označení: JMS 412 GS – BL
- Počet válců: 12
- Uložení válců: řadové do „V“ pod úhlem 70°
- Elektrický jmenovitý výkon: 889 kW<sub>e</sub>
- Tepelný jmenovitý výkon: 875 kW<sub>th</sub>
- Maximální elektrický výkon: 1000 kW<sub>e</sub>





Obr. 6.2 Strojovna kogenerační jednotky



Obr. 6.3 Schéma technologie BPS Žerotín a. s.

## 7. Návrh zvýšení účinnosti BPS pomocí ORC zařízení

Za účelem navýšení celkové účinnosti a elektrického výkonu bioplynové stanice byla představenstvu Žerotín a.s. nabídnuta varianta, kdy se k systému KGJ připojí ORC jednotka. Po zvážení všech možných variant byla vybrána jako nejlepší varianta ORC jednotka od společnosti Electratherm, Inc. Jedná se konkrétně o model Green Machine Series 4000, 30 – 50 kW.

ORC jednotka je připojena do systému KGJ přes trojcestný elektronicky ovládaný ventil za spalínový výměník motoru tak, aby co nejméně ovlivňoval hydraulický systém KGJ. Detailní zapojení ORC jednotky do systému KGJ můžeme vidět viz. Příloha č. 1 Výkres - R&I Diagram.

### 7.1 Zapojení ORC jednotky do systému KGJ

Na schématu [7.4] můžeme vidět, jakým způsobem je implementována ORC jednotka do systému KGJ jednotky GE Jenbacher JMS 412 GS – BL. ORC jednotka je zapojena přes trojcestný elektronicky řízený ventil KSB s bezpečnostním systémem zavírání. Tento ventil je vyveden na potrubí za spalínovým výměníkem GE Leanox [7.1].



Obr. 7.1 Spalínový výměník GE Leanox

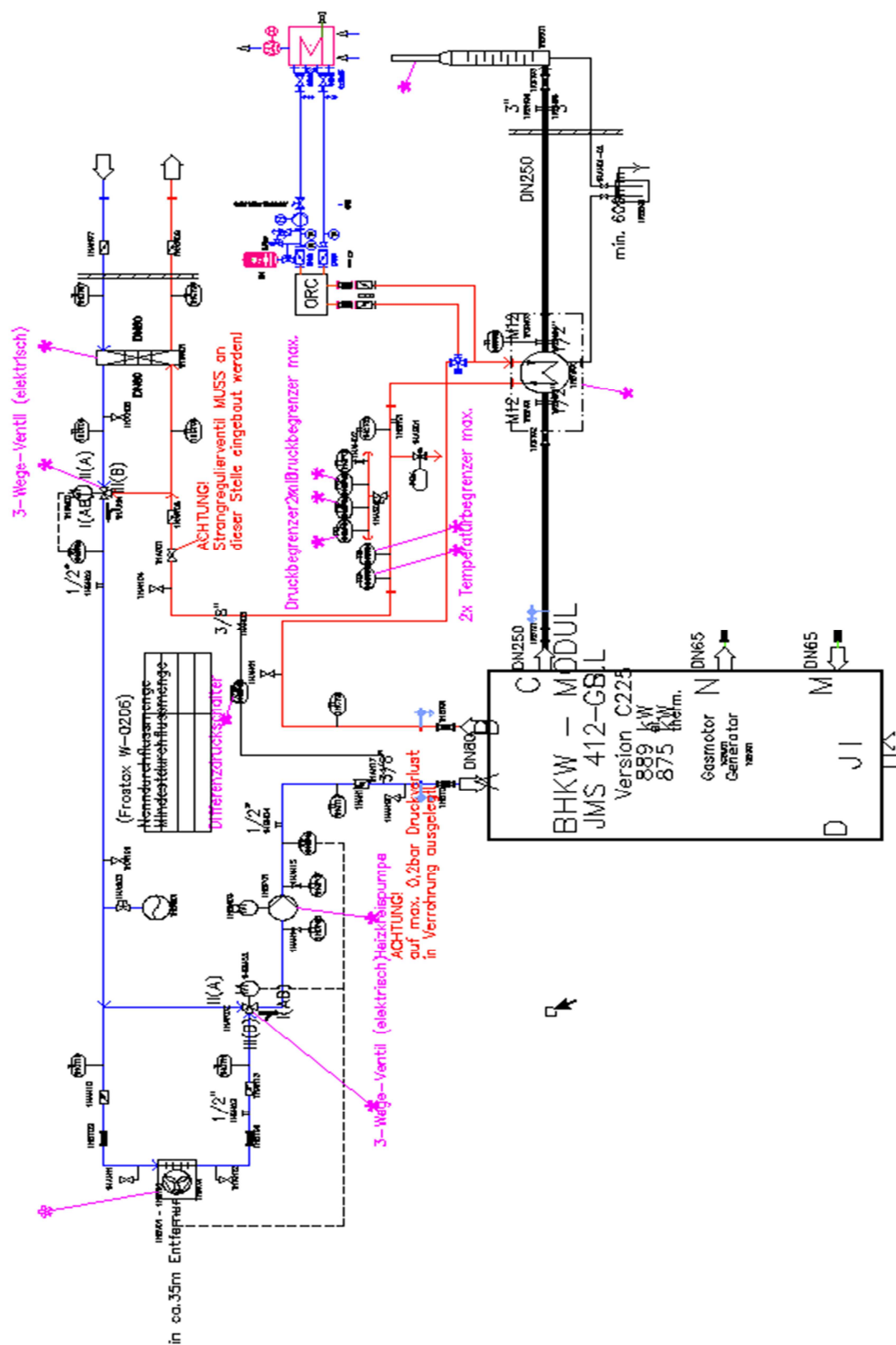


Obr. 7.2 Trojcestný ventil KSB



Obr. 7.3 Vývod tepla pro ORC jednotku





Obr. 7.4 Schéma zapojení ORC jednotky do systému KGJ

## **8. Optimalizace ORC jednotky**

Po uvedení BPS a ORC jednotky do provozu nastal problém v tom, že bylo třeba vyladit teplotu a průtok chladicí vody z KGJ na požadované hodnoty ORC jednotky. Provozní hodnoty dle požadavků ORC jsou:

- průtok: 11 l/s
- teplota: 110°C

Týmu techniků z Jenbacheru se toto částečně podařilo v podobě nastavení parametrů na:

- průtok: 10,5 l/s
- teplota: 103 – 107°C

Vstupní teplota byla závislá na ročním období resp. na tepelné potřebě fermentoru. Veškerý systém fungoval a funguje bez dílčích problémů, avšak jsme zjistili, že při neočekávaném výpadku ORC zařízení dojde k přehřátí motoru a k nechtěnému odstavení KGJ. To je bohužel způsobeno tím, že veškerý systém na motorové straně je stavěn na průtok okolo 7 l/s a tím, že tento průtok je kvůli ORC jednotce navýšen na 10,5 l/s je způsobeno to, že při skokovém odstavení ORC jednotky a tím pádem i skokovém neodebírání cca 500 kW, nestihnou dostatečně rychle zareagovat regulační činitelé a chladicí okruh KGJ.

Z tohoto důvodu bych navrhnul úpravu vnitřního okruhu ORC jednotky. Úprava by spočívala ve změně velikosti výparníku. Výparník nyní potřebuje již zmiňovaných 11 l/s a cca 110°C to má ale za následek nerovnováhu mezi systémem KGJ a ORC.

Mým cílem je tedy navrhnout výparník takový, aby ORC jednotce stačil provozní průtok někde okolo 7 l/s.

### **8.1 Parametry standardně dodávaného výparníku**

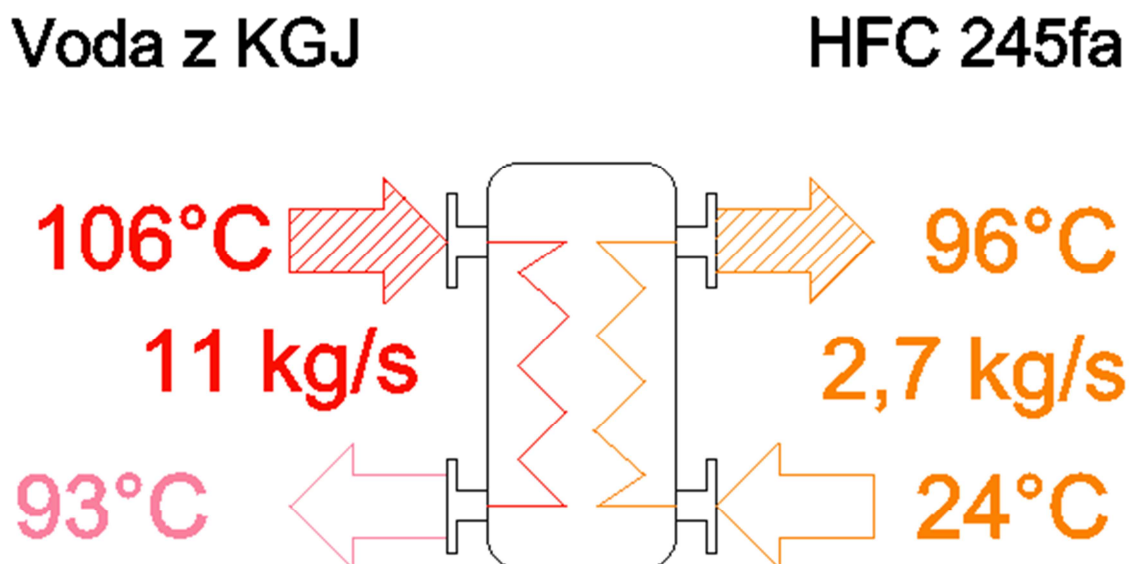
Výparník v ORC jednotce je pájený deskový výměník.

Vstupní údaje stávajícího výměníku:

- teplota vody vstup: 107°C
- teplota vody výstup: 96°C
- teplota HFC 245fa vstup: 24°C
- teplota HFC 245fa výstup: 96°C
- průtok vody: 11 kg/s
- průtok HFC 245fa: 2,7 kg/s

Na bilančním schématu [8.1] vidíme procesy ve standardním výměníku jednotky ORC. Mým úkolem bude přepočítat a navrhnout výměník takový, který by měl za podobných parametrů průtok někde okolo 7 l/s.

Bilanční schéma stávajícího výměníku:



Obr. 8.1 Bilanční schéma výparníku ORC jednotky Electratherm Green Machine

## 8.2 Návrh optimalizovaného výparníku

Požadované hodnoty optimalizovaného výparníku:

- teplota vody vstup: 107°C
- teplota vody výstup:  $\approx 95^\circ\text{C}$
- teplota HFC 245fa vstup: 23°C
- teplota HFC 245fa výstup: 96°C
- průtok vody:  $\approx 7 \text{ kg/s}$
- průtok HFC 245fa:  $\approx 2 \text{ kg/s}$

### 8.3 Výpočet optimalizovaného výměníku

K výpočtu optimalizovaného výměníku jsem použil výpočtový program Brazelect od společnosti G MAR PLUS, s. r. o. Tento program byl vyvinut zvláště pro výpočet, návrh a optimalizaci deskových pájených výměníku dle daných vstupních parametrů. [9]

#### Zadání vstupních výpočtových hodnot:

Do výpočtové tabulky jsem zadal vstupní data, která požaduje a ta, která známe vzhledem k daným skutečnostem. Teplo, které má ORC jednotka resp. Výparník k dispozici je 500 kW. Koncentrace ethylen – glykolové směsi je 37%. Teplotní spád jsem určil 110/90°C na straně vody a 23/96°C na straně HFC 245fa.

Průtoky jak vody, tak chladiva jsou zadány pouze orientačně a budou přesně vypočteny.

The screenshot shows the 'Optimization' window of the Brazelect software. It has two tabs: 'Input' and 'Results'. The 'Input' tab is active, displaying a form for heat exchanger parameters. The form is organized into several sections:

- BPHE:** Capacity: 500 kW, Surfaceplus: %, Number of BPHE: serial 1, parallel 1.
- Parameter:** Medium: Ethylen-Glycol, Condition: liquid (selected), Condensing Pressure: kPa, Concentration: 37%, Inlet/Outlet Temp.: 110/90 °C, Mass flow: 15 kg/s (selected), Volume flow: m3/h, Pressure drop: 55 kPa.
- Side A:** Medium: Ethylen-Glycol, Condition: liquid (selected), Condensing Pressure: kPa, Concentration: %, Inlet/Outlet Temp.: 110/90 °C, Mass flow: 15 kg/s (selected), Volume flow: m3/h, Pressure drop: 55 kPa.
- Side B:** Medium: HFC 245fa, Condition: gaseous (selected), Condensing Pressure: 800 kPa, Concentration: %, Inlet/Outlet Temp.: 23/96 °C, Mass flow: 2.7 kg/s (selected), Volume flow: m3/h, Pressure drop: 15 kPa.

At the bottom, there is a 'Fix' section with three radio buttons: 'Flow side A', 'Flow side B', and 'Capacity' (selected). A 'Calculation' button is located on the right side of the bottom section.

Obr. 8.2 Zadání vstupních dat pro výpočet [9]

Vypočtené hodnoty:

Ze zadaných hodnot nám návrhový program Brazelect vypočítal parametry optimalizovaného výparníku viz. [9].

The screenshot shows the 'Optimization' window of the Brazelect software. It is divided into 'Input' and 'Results' tabs. The 'Results' tab is active, displaying calculated parameters for a heat exchanger. The parameters are organized into sections: BPHE (Type: L57-60, Capacity: 500 kW, Surfaceplus: -2.67%, Connection Type: GG, Isolation Type: Žádná, Price: 0,00 SEK), Parameter (Medium: Ethylen-Glycol, Condition: liquid, Condensing Pressure: 37 %, Inlet/Outlet Temp.: 110 °C / 90 °C, Pressure drop: 32,92 kPa, Mass flow: 6,51 kg/s), Side B (Medium: Ethylen-Glycol, Condition: liquid, Condensing Pressure: 37 %, Inlet/Outlet Temp.: 110 °C / 90 °C, Pressure drop: 32,92 kPa, Mass flow: 6,51 kg/s), and Side A (Medium: HFC 245fa, Condition: vapor, Inlet/Outlet Temp.: 23 °C / 96 °C, Pressure drop: 4,64 kPa, Mass flow: 1,95 kg/s). There are also buttons for 'Manual...', 'Input Data', and 'Close'.

Obr. 8.3 Vypočtené hodnoty výparníku [9]

Parametry optimalizovaného výparníku“

- teplota vody vstup: 110°C
- teplota vody výstup: ≈ 90°C
- teplota HFC 245fa vstup: 23°C
- teplota HFC 245fa výstup: 96°C
- průtok vody: 6,51 kg/s
- průtok HFC 245fa: 1,95 kg/s

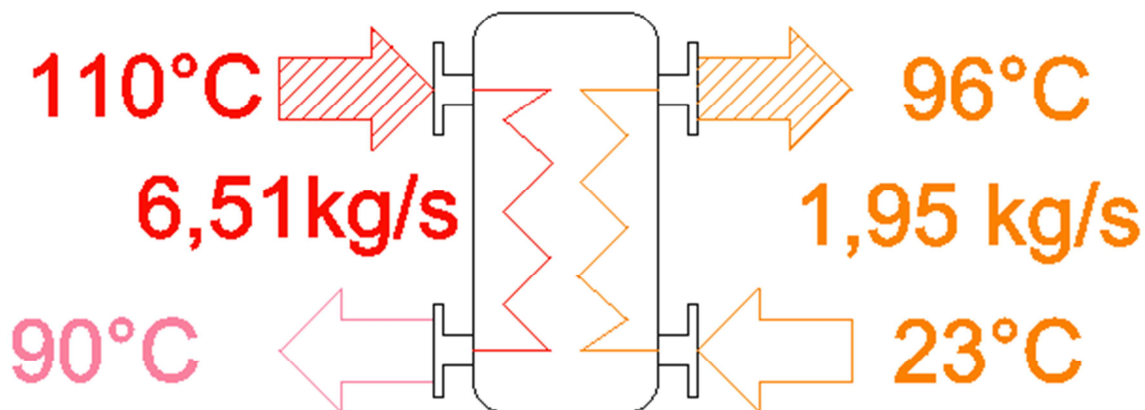
Z vypočtených hodnot je patrné, že jsme se dostali na provozní průtok 6,51 l/s. Tato hodnota je z hlediska provozu a rovnováhy systémů KGJ a ORC ideální.

Program Brazelect nám dokonce navrhnul typ deskového výměníku. Určil, že nejvhodnější výměník je typ L57 – 60. Základní

rozměry viz obr. [8.4]. V příloze č. 2 „Výkres – Deskový výměník“ můžeme vidět výkresovou dokumentaci tohoto výměníku, kterou jsem zpracoval. [10]

typová řada		L/M/H 57
alternativní nové značení		GBS 757
počet desek		30 - 160
výška	(mm)	543
šířka	(mm)	281
délka	(mm)	128 - 472,5
dimenze připojení	DN	2"
maximální provozní tlak	PN	30
maximální provozní teplota	(°C)	-196 - 204
hmotnost	(kg)	28,2 - 93,2
standard. materiály desek		A316
pájka		Cu 99.9%

Obr. 8.4 Základní rozměry výparníku

Bilanční schéma optimalizovaného výměníku:**Voda z KGJ****HFC 245fa**

Obr. 8.5 Bilanční schéma optimalizovaného výparníku

**8.4 Příklad výpočtu deskového výměníku**

Vzhledem k výpočtu výměníku za pomoci výpočtového programu Brazelect se budu v této kapitole věnovat příkladu výpočtu deskového výměníku.

Při výpočtu deskového pájeného výměníku budu postupovat stejně, jako při výpočtu prostupu tepla neomezenou rovinnou stěnou. Budu uvažovat tepelné toky stěnou, které budu vztahovat na 1m<sup>2</sup> stěny, resp. desky výměníku. Za předpokladu rovnoměrného tepelného působení uvažujeme rovnici:[14]

$$\dot{Q} = q \cdot S, [W] \quad (1)$$

Pokud rovnici podělíme plochou S, obdržíme výpočetní vztah pro výpočet hustoty tepelného toku pro jednoduchou stěnu:[14]

$$q = \lambda \cdot \frac{t_{s1} - t_{s2}}{l} = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\frac{l}{\lambda}}, [W \cdot m^2] \quad (2)$$

Prostup tepla stěnou spočítáme tak, když vyjdeme z rovnosti hustoty tepelných toků při přestupu z teplejší tekutiny na stěnu a vedením dílčími vrstvami a při přestupu do chladnější tekutiny. Newtonovu rovnici můžeme zapsat za pomoci tepelných odporů.[14]

$$q = \frac{t_1 - t_{s1}}{\frac{1}{\alpha_1}} \rightarrow t_1 - t_{s1} = q \cdot \frac{1}{\alpha_1}, \quad (3)$$

$$q = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\frac{l_1}{\lambda_1}} \rightarrow t_{s1} - t_{s2} = q \cdot \frac{l_1}{\lambda_1}, \quad (4)$$

$$q = \frac{t_{s2} - t_{s3}}{\frac{l_2}{\lambda_2}} \rightarrow t_{s2} - t_{s3} = q \cdot \frac{l_2}{\lambda_2}, \quad (5)$$

$$q = \frac{t_{s3} - t_2}{\frac{1}{\alpha_2}} \rightarrow t_{s3} - t_2 = q \cdot \frac{1}{\alpha_2}, \quad (6)$$

Pokud rovnice sečteme, tak vyloučíme teploty obou povrchů i teplotu mezi vrstvami.[14]

$$t_1 - t_2 = q \cdot \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (7)$$

Hodnoty v závorkách  $1/\alpha$  značí odpory proti přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ] a hodnota  $l/\lambda$  značí odpor proti vedení tepla [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]. [14]

Hustotu tepelného toku tedy vyjádříme:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (8)$$

Potom platí obecně pro jakoukoliv složenou stěnu z  $n$  těsně přiléhajících vrstev:[14]

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = k \cdot (t_1 - t_2), [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (9)$$

Kde:

- $t_1, t_2$ ...střední teploty teplejší a chladnější tekutiny [ $^{\circ}\text{C}$ , K]
- $\alpha_1, \alpha_2$ ...součinitele přestupu tepla na teplejší a chladnější straně [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $l_i$ ...tloušťka  $i$ -té vrstvy [m]
- $\lambda_i$ ...součinitel tepelné vodivosti  $i$ -té vrstvy [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
- $k$ ...tzv. součinitel prostupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] [14]

Z rovnice (9) tedy vyplývá obecná rovnice pro součinitel přestupu tepla:[14]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = , [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (10)$$

Pro jednoduchou rovinnou stěnu ( $n=1$ ) je vzorec pro prostup tepla následující:

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_1 - t_2) \text{ , } [W \cdot m^{-2}] \quad (11)$$

### 8.4.1 Výpočet výměníku – určení součinitele prostupu tepla

Pro názornost v této kapitole vypočítám ručně součinitel prostupu tepla pro výměník, který byl vypočten za pomoci softwaru Brazelect[9].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Šířka desky - $b$	539	mm
Počet desek - $n$	60	ks
Tloušťka desky - $l$	0,7	mm
Tepelná vodivost materiálu - $\lambda$	250	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Vzdálenost mezi deskami - $a$	3,56	mm

Tab. 8.1 Parametry výměníku L57-60

Nyní provedu výpočet rychlosti proudění studeného a teplého proudu.

Rychlost teplého proudu:

$$v_t = \frac{\dot{V}_t}{a \cdot b \cdot n} = \frac{6,51}{0,00356 \cdot 0,539 \cdot 60} = 56,54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (12)$$

Rychlost studeného proudu:

$$v_s = \frac{\dot{V}_s}{a \cdot b \cdot n} = \frac{1,95}{0,00356 \cdot 0,539 \cdot 60} = 16,94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (13)$$

Ve vztahu (12) a (13) jsem dosadil za  $\dot{V}_t$  – hmotnostní průtok chladné strany [kg/s] a  $\dot{V}_s$  - objemový průtok teplé strany [kg/s] z [8.5]. Hodnoty  $a$ ,  $b$ ,  $n$ , jsem dosadil z [Tab. 8.1]. Hmotnostní průtoky jsou známé, které jsou změřené v provozu na zařízení.

Dále vypočítám charakteristický délkový rozměr výměníku:

$$d_e = \frac{4 \cdot S}{o} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a+b)} = \frac{4 \cdot 0,00356 \cdot 0,539}{2 \cdot (0,00356+0,539)} = 0,007073 \text{ m} \quad (14)$$



Kde:

- $S$ ...plocha průřezu [ $\text{m}^2$ ]
- $O$ ...obvod kanálu [ $\text{m}$ ]

Po vypočtení charakteristického délkového rozměru musím dále spočítat Reynoldsovo číslo jak pro teplý, tak pro studený proud.

Reynoldsovo číslo pro teplý proud:

$$Re_t = \frac{v_t \cdot l}{\nu} = \frac{56,54 \cdot 0,007073}{20,452 \cdot 10^{-6}} = 19553,46 \quad (15)$$

Reynoldsovo číslo pro studený proud:

$$Re_s = \frac{v_s \cdot l}{\nu} = \frac{16,94 \cdot 0,007073}{17,1 \cdot 10^{-6}} = 7006,82 \quad (16)$$

Kde:

- $\nu$ ...kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] [14]
- $u$ ...charakteristická rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ], z (12) a (13)
- $l$ ...charakteristická délka [ $\text{m}$ ] z (14)

Další hodnota, kterou potřebujeme vypočítat k určení součinitele přestupu tepla je Nusseltovo kritérium.

$$Nu_t = 0,1 \cdot Re_t^{0,7} \cdot Pr^{0,4} \quad (17)$$

Kde  $Re_t$ ,  $Re_s$  z (14) a (15)

Prandtlovo kritérium:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} \quad \rightarrow \text{volím } Pr = 0,7 \text{ dle [14]} \quad (18)$$

Kde:

$\alpha$ ...součinitel přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ],

$\nu$ ...kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$c_p$ ...měrné teplo [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],

$\eta$ ...dynamická viskozita proudícího média [Pa.s],

$\lambda$ ...tepelná vodivost [ $W.m^{-1}.K^{-1}$ ],

Nusseltovo kritérium pro teplý proud:

$$Nu_t = 0,1 \cdot Re_t^{0,7} \cdot Pr^{0,4} = 0,1 \cdot 19553,46^{0,7} \cdot 0,7^{0,4} = 87,47 \quad (19)$$

Nusseltovo kritérium pro studený proud:

$$Nu_s = 0,1 \cdot Re_t^{0,7} \cdot Pr^{0,4} = 0,1 \cdot 7006,82^{0,7} \cdot 0,7^{0,4} = 42,65 \quad (20)$$

Součinitele přestupu tepla vypočítám dle vztahu:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (21)$$

Součinitele přestupu tepla pro teplý proud:

$$\alpha_t = \frac{Nu_t \cdot \lambda}{l} = \frac{87,47 \cdot 0,02876}{0,007073} = 355,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (22)$$

Součinitele přestupu tepla pro studený proud:

$$\alpha_s = \frac{Nu_s \cdot \lambda}{l} = \frac{42,65 \cdot 0,02876}{0,007073} = 159,37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (23)$$

Hodnoty pro tepelnou vodivost  $\lambda$  byly odečteny z tabulek [15].

V této fázi máme veškeré výpočty, které jsou nutné k určení součinitele prostupu tepla deskovým výměníkem (výparníkem ORC jednotky).

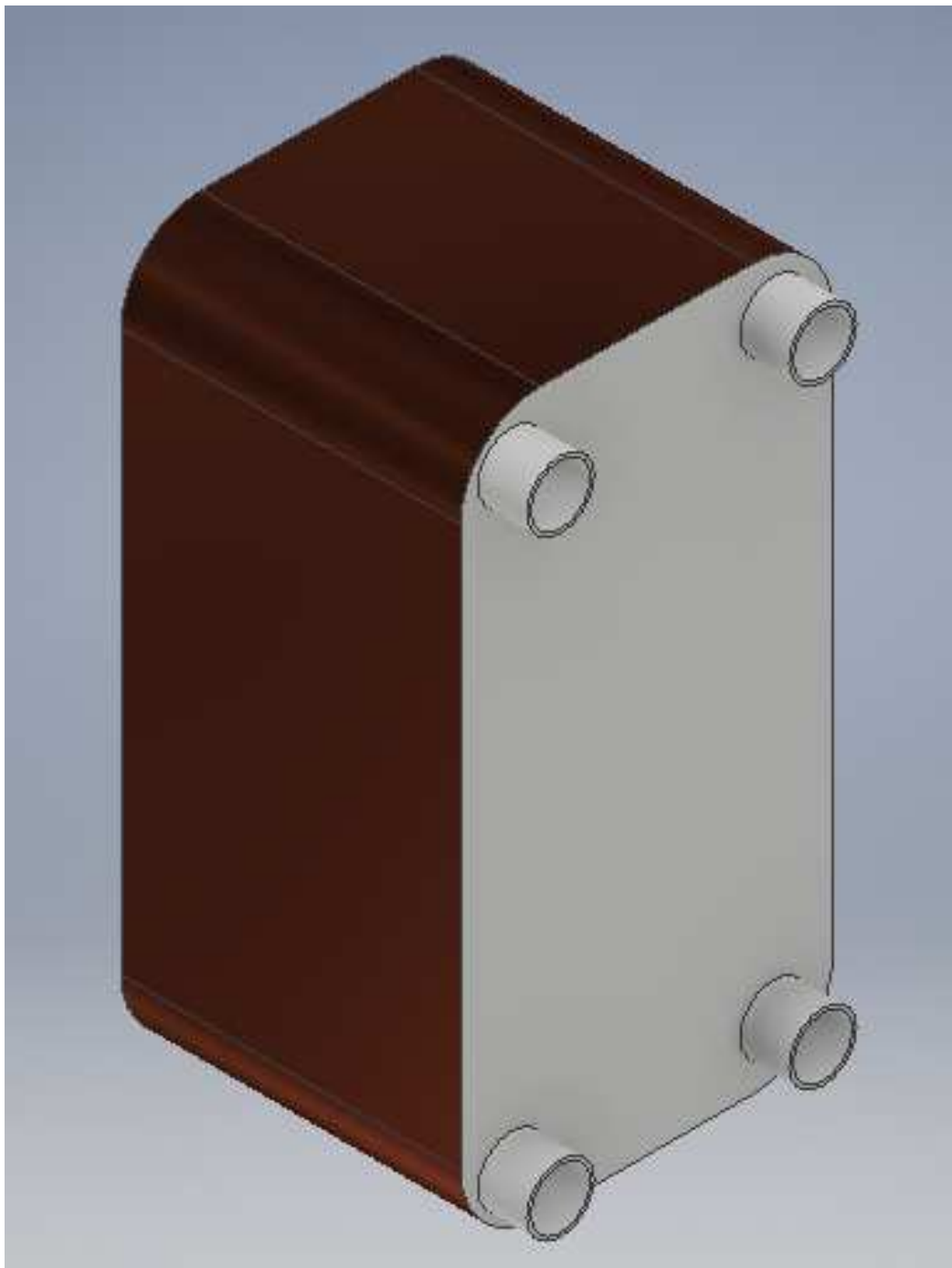
Součinitel prostupu tepla deskovým výměníkem vypočteme dle vztahu:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (24)$$

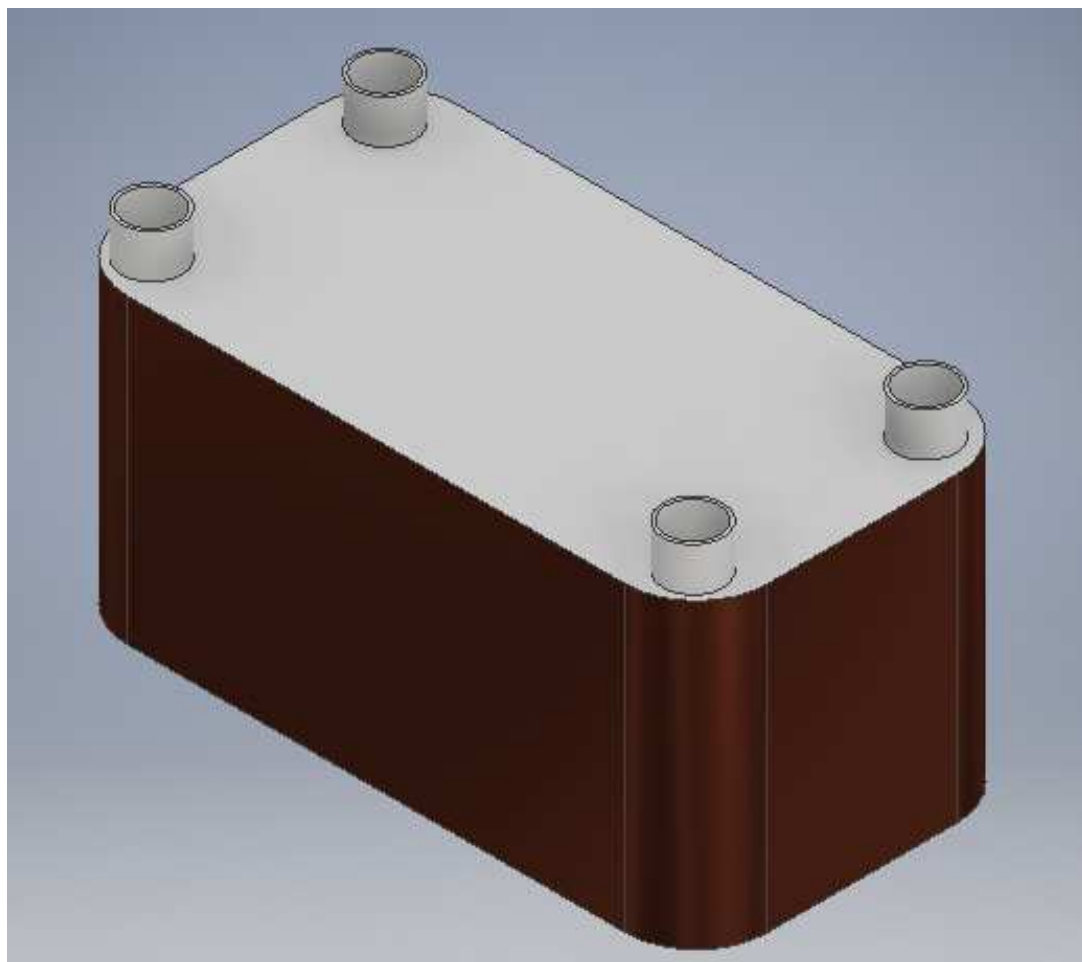
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{159,37} + \frac{0,0007}{250} + \frac{1}{355,67}} = 110,022 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (25)$$

## 8.5 Model výparníku – 3D

Jako součást mé diplomové práce jsem nově navržený deskový výměník tepla, který v ORC jednotce slouží jako výparník, vymodeloval v 3D zobrazení. Návrh byl vypracován v programu Autodesk Inventor Professional 2017.



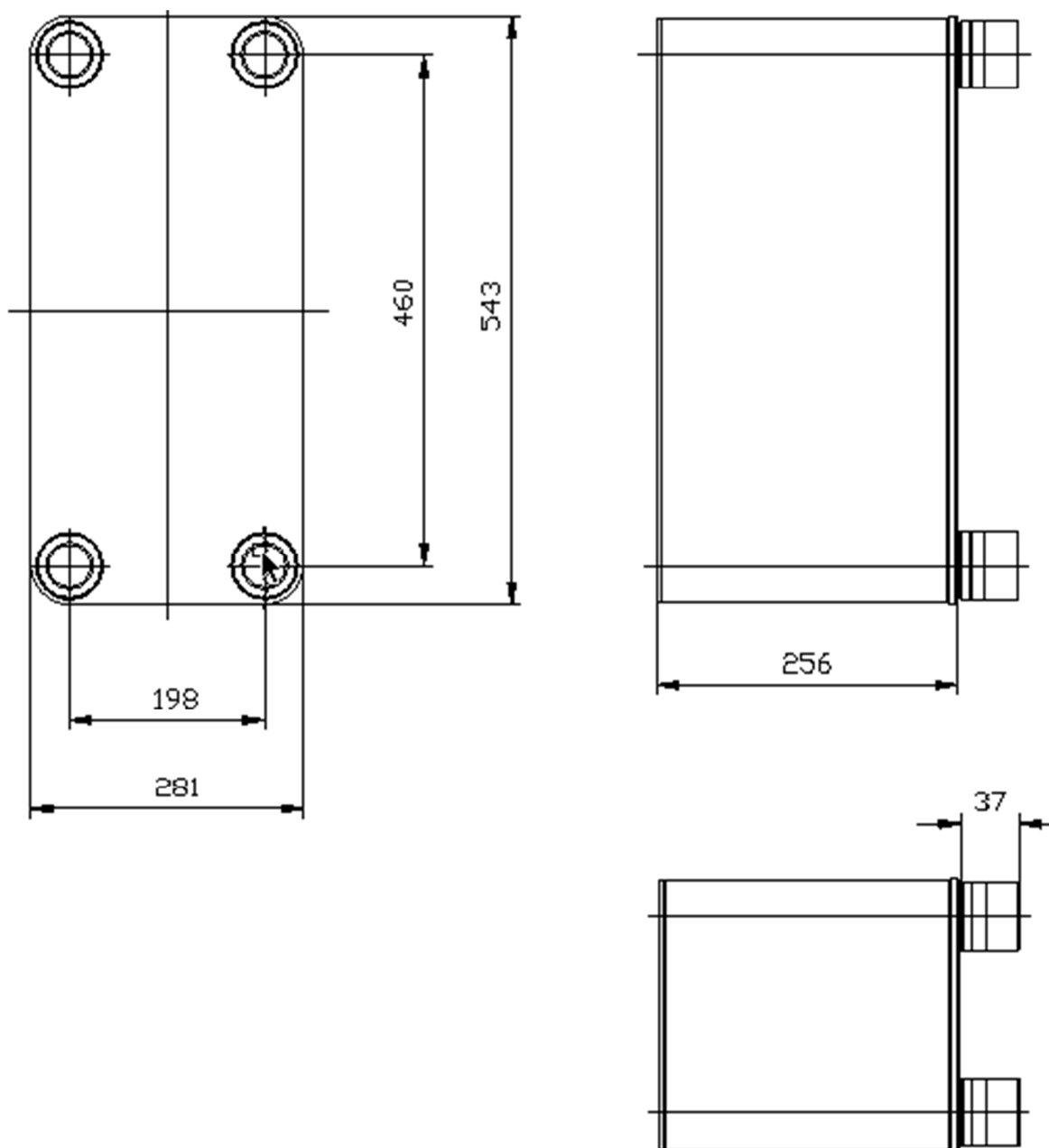
*Obr. 8.6 Svislý axonometrický pohled na výparník L57 – 60*



*Obr. 8.7 Vodorovný axonometrický pohled na výparník L57 – 60*

## 8.6 Rozměrový výkres výparníku

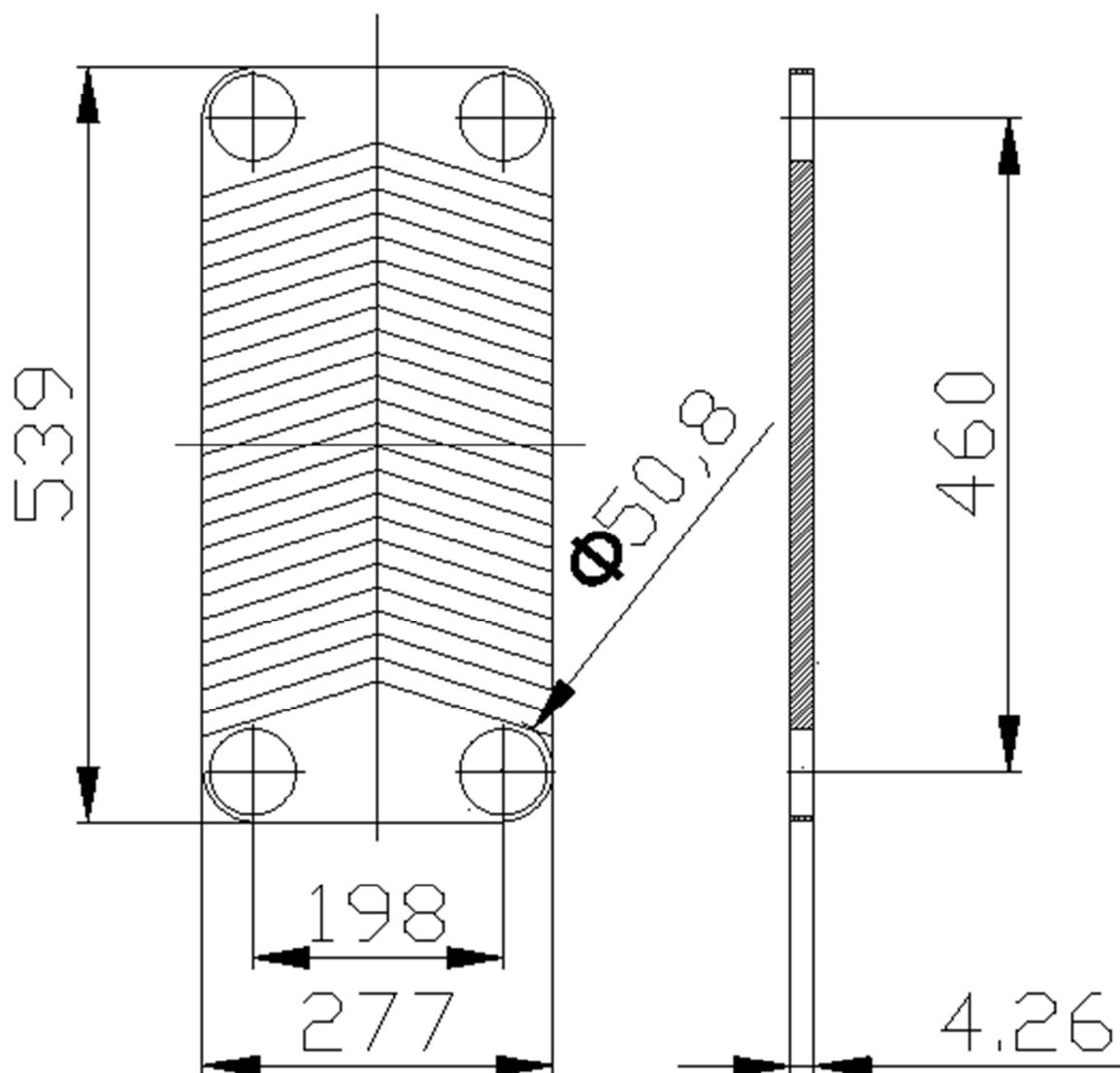
Na [8.8] můžeme vidět zobrazen rozměrový výkres navrženého pájeného deskového výměníku L57 – 60. Tento výkres jsem vytvořil za pomoci volně šiřitelného 2D programu DraftSight CAD System od společnosti Dassault Systèmes®.



Obr. 8.8 Návrh deskového výměníku

## 8.7 Rozměrový výkres desky výparníku

Na [8.9] můžeme vidět zobrazen rozměrový výkres desky pájeného deskového výměníku L57 – 60. Tento výkres jsem vytvořil za pomoci volně šiřitelného 2D programu DraftSight CAD System od společnosti Dassault Systèmes®.



Obr. 8.9 Návrh desky výparníku

## **9. Ekonomické zhodnocení ORC jednotky na BPS Žerotín**

Bioplynová stanice Žerotín a.s. byla uvedena do provozu v roce 2012. ORC jednotka Green Machine od společnosti Electratherm, Inc. byla na BPS Žerotín a. s. nainstalována ve stejném roce.

BPS začala dosahovat svého jmenovitého výkonu na začátku dubna roku 2013. ORC jednotka byla do té doby provozována pouze tehdy, když bylo k dispozici dostatek tepla a kogenerační jednotka byla schopna jet kontinuálně. Po zahájení ostrého provozu stanice vyvstaly drobné potíže s vyladěním provozu KGJ a ORC jednotky. Jak jsem uvedl v kapitolách výše, tak problémy nastávaly, pokud došlo ke skokovému odstavení ORC jednotky. Tím pádem docházelo k přehřátí celého systému KGJ a také jejímu nechtěnému a nežádoucímu odstavení. Tento problém byl po několikaměsíční anabázi s inženýry ze společnosti Jenbacher vyřešen v druhé půli roku 2013. Postupem času se zjistilo, že přenastavení regulačního systému je nutné provádět vždy při změně letního a zimního provozu. Nešlo tedy provést jedno nastavení natrvalo, tento systém tedy není dodnes ideální, což je i předmětem této diplomové práce.

S jistotou tedy můžeme prohlásit, že rok 2014 byl prvním rokem, kdy ORC jednotka a KGJ jely trvale na maximální výkon a byly provozovány v maximálním možném souladu. Z tohoto důvodu se mé ekonomické zhodnocení bude týkat roků 2014, 2015, 2016. Tyto tři roky jela BPS a ORC jednotka na maximální možný výkon, samozřejmě s ohledem na možná úskalí a rizika, která jsou spojena s nepřetržitým provozem. Těmito riziky jsou myšleny odstávky, které se musely provést z nepředpokladatelných důvodů, ale jejich doba trvání nebyla příliš velká vzhledem k ročnímu maximálně možnému provozu, tj. 8760h. Mohlo se jednat např. o netěsnost systému ORC jednotky, které byla opravena v řádu několika hodin, dále o výměnu oleje KGJ, výměnu svíček, pravidelný servis ORC jednotky každých 2200h apod.

### **9.1 Naměřené provozní hodnoty ORC jednotky**

Naměřené hodnoty ORC jednotky byly odečítány každý měsíc a zapisovány do deníku. Elektrický výkon byl odečítán na elektroměru distribuční společnosti. Zbýlé údaje byly odečítány z ORC jednotky. Naměřené hodnoty za roky 2015, 2016 a 2017 můžeme vidět v tabulce [9.1]

2014	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kWh	223569,4	241757	258412	274789	290041	302424	313594	323319	335115	347947	360591	367762
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kWh	340168	367708	392962	418462	442916	464810	485106	504182	525596	546072	565400	576572
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	9811,5	10541	11208	11920	12632	13351	14045	14762	15496	16193	16909	17361
ORC čistá výroba	kWh	16742,77	18187,6	16655	16377	15252	12383	11170	9725	11796	12832	12644	7171
ORC hrubá výroba	kWh	25564	27540	25254	25500	24454	21894	20296	19076	21414	20476	19328	11172
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	22,5	27,1	22,4	22,7	20,5	17,2	15,0	13,1	16,4	17,2	17,6	9,6
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	34,4	41,0	33,9	35,4	32,9	30,4	27,3	25,6	29,7	27,5	26,8	15,0
ORC Provozní doba		688,6	729,5	667	712	712	719	694	717	734	697	716	452
ORC reálná čistá výroba dle provozních hodin	kW	24,3	24,9	25,0	23,0	21,4	17,2	16,1	13,6	16,1	18,4	17,7	15,9
2015	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kWh	367762	380885	399288	410813	427223	439949	450354	455915	463720	477467	491747	508379
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kWh	576572	594238	618646	634334	657580	678184	696054	707500	722304	743132	763730	786584
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	17361	17863	18526	18981	19690	20430	21111	21645	22273	22979	23691	24389
ORC čistá výroba	kWh	0	13123	18403	11525	16410	12726	10405	5561	7805	13747	14280	16632
ORC hrubá výroba	kWh	0	17666	24408	15688	23246	20604	17870	11446	14804	20828	20598	22854
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	0,0	19,5	24,7	16,0	22,1	17,7	14,0	7,5	10,8	19,1	19,8	22,4
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	0,0	26,3	32,8	21,8	31,2	28,6	24,0	15,4	20,6	28,0	28,6	30,7
ORC Provozní doba		0	502	663	455	709	740	681	534	628	706	712	698
ORC reálná čistá výroba dle provozních hodin	kW	0,0	26,1	27,8	25,3	23,1	17,2	15,3	10,4	12,4	19,5	20,1	23,8
2016	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kWh	527987	549109	560748	580531	596794	610119	619590	629575	640585	652631,19	664030	666147
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kWh	812450	840126	855834	882332	904932	925646	941930	959628	978148	1000000,3	1015322	1018560
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	25080	25819	26274	27008	27683	28419	29060	29761	30486	31200	31944	32080
ORC čistá výroba	kWh	19608	21122	11639	19783	16263	13325	9471	9985	11010	12046,19	11398,81	2117
ORC hrubá výroba	kWh	25866	27676	15708	26498	22600	20714	16284	17698	18520	21852,3	15321,7	3238
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	26,4	30,3	15,6	27,5	21,9	18,5	12,7	13,4	15,3	16,2	15,8	2,8
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	34,8	39,8	21,1	36,8	30,4	28,8	21,9	23,8	25,7	29,4	21,3	4,4
ORC Provozní doba		691	739	455	734	675	736	641	701	725	714	744	136
ORC reálná čistá výroba dle provozních hodin	kW	28,4	28,6	25,6	27,0	24,1	18,1	14,8	14,2	15,2	16,9	15,3	15,6

Tab. 9.1 Naměřené provozní hodnoty ORC jednotky



V tabulkách [9.1] vidíme prosté odečty (tmavě zeleně podbarvený text) viz. ORC Stav elektroměru – čistý výkon, ORC Stav elektroměru – hrubý výkon, ORC Stav počítadla provozních hodin.

Dále jsou zde vypočtené údaje (světle zeleně podbarvený text) viz. ORC čistá výroba, ORC hrubá výroba, ORC průměrný hodinový výkon čistý, ORC průměrný hodinový výkon hrubý, ORC provozní doba, ORC reálný čistý výkon dle provozních hodin.

Pro vysvětlení zde předvedu způsob výpočtu měsíce srpna pro všechny roky.

### Výpočet pro měsíc srpen 2014

*ORC čistá výroba* = ORC Stav elektroměru – čistý výkon srpen - ORC stav elektroměru – čistý výkon červenec

*ORC čistá výroba* = 313 594 – 302 424

*ORC čistá výroba* = 11 170 kWh (26)

*ORC hrubá výroba* = ORC Stav elektroměru – hrubý výkon srpen - ORC stav elektroměru – hrubý výkon červenec

*ORC hrubá výroba* = 485 106 – 464 810

*ORC hrubá výroba* = 20 296 kWh (27)

*ORC průměrný hodinový výkon čistý* = ORC čistá výroba srpen / počet dnů x 24h

*ORC průměrný hodinový výkon čistý* = 11 170 / 31 x 24

*ORC průměrný hodinový výkon čistý* = 15 kWh (28)

kde 11 170 kWh jsem dosadil z výpočtu (26)

*ORC průměrný hodinový výkon hrubý* = ORC hrubá výroba srpen / počet dnů x 24h

*ORC průměrný hodinový výkon hrubý* = 20 296 / 31 x 24

*ORC průměrný hodinový výkon hrubý* = 27,3 kWh (29)

kde 20296 kWh jsem dosadil z výpočtu (27)

*ORC provozní doba* = ORC stav počítadla srpen - ORC stav počítadla červenec

*ORC provozní doba* = 14 045 – 13 351

*ORC provozní doba* = 694 h (30)

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = ORC \text{ čistá výroba srpen} / ORC \text{ provozní doba}$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = 11\,170 / 694$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = \underline{16,1 \text{ kWh}}$  (31)

kde 11 170 kWh jsem dosadil z výpočtu (26) a 694 h z výpočtu (30)

2014	Jednotky	srpen
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kwh	313594
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kwh	485106
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	14045
ORC čistá výroba	kWh	11170
ORC hrubá výroba	kWh	20296
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	15,0
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	27,3
ORC Provozní doba	h	694
ORC reálná čistý výroba dle provozních hodin	kW	16,1

Tab. 9.2 Vypočtené hodnoty srpen 2014 – elektrický výkon

#### Výpočet pro měsíc srpen 2015

$ORC \text{ čistá výroba} = ORC \text{ Stav elektroměru} - \text{čistý výkon srpen} - ORC \text{ stav elektroměru} - \text{čistý výkon červenec}$

$ORC \text{ čistá výroba} = 450\,354 - 439\,949$

$ORC \text{ čistá výroba} = \underline{10\,405 \text{ kWh}}$  (32)

$ORC \text{ hrubá výroba} = ORC \text{ Stav elektroměru} - \text{hrubý výkon srpen} - ORC \text{ stav elektroměru} - \text{hrubý výkon červenec}$

$ORC \text{ hrubá výroba} = 696\,054 - 678\,184$

$ORC \text{ hrubá výroba} = \underline{17\,870 \text{ kWh}}$  (33)

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = ORC \text{ čistá výroba srpen} / \text{počet dnů} \times 24h$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = 10\,405 / 31 \times 24$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = \underline{14 \text{ kWh}}$  (34)

kde 10 405 kWh jsem dosadil z výpočtu (32)

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = ORC \text{ hrubá výroba srpen} / \text{počet dnů} \times 24h$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = 17\,870 / 31 \times 24$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = \underline{24 \text{ kWh}}$  (35)

kde 17870 kWh jsem dosadil z výpočtu (33)

$ORC \text{ provozní doba} = ORC \text{ stav počítadla srpen} - ORC \text{ stav počítadla červenec}$

$ORC \text{ provozní doba} = 21\,111 - 20\,430$

$ORC \text{ provozní doba} = \underline{681 \text{ h}}$  (36)

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = ORC \text{ čistá výroba srpen} / ORC \text{ provozní doba}$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = 10\,405 / 681$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = \underline{15,3 \text{ kWh}}$  (37)

kde 10 405 kWh jsem dosadil z výpočtu (32) a 681 h z výpočtu (36)

2015	Jednotky	srpen
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kwh	450354
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kwh	696054
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	21111
ORC čistá výroba	kWh	10405
ORC hrubá výroba	kWh	17870
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	14,0
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	24,0
ORC Provozní doba	h	681
ORC reálná čistý výroba dle provozních hodin	kW	15,3

Tab. 9.3 Vypočtené hodnoty srpen 2015 – elektrický výkon

#### Výpočet pro měsíc srpen 2016

$ORC \text{ čistá výroba} = ORC \text{ Stav elektroměru} - \text{čistý výkon srpen} - ORC \text{ stav elektroměru} - \text{čistý výkon červenec}$

$ORC \text{ čistá výroba} = 619\,590 - 610\,119$

$ORC \text{ čistá výroba} = \underline{9\,471 \text{ kWh}}$  (38)

$ORC \text{ hrubá výroba} = ORC \text{ Stav elektroměru} - \text{hrubý výkon srpen} - ORC \text{ stav elektroměru} - \text{hrubý výkon červenec}$

$ORC \text{ hrubá výroba} = 941\,930 - 925\,646$

$ORC \text{ hrubá výroba} = \underline{16\,284 \text{ kWh}}$  (39)

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = ORC \text{ čistá výroba srpen} / \text{počet dnů} \times 24h$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = 9\,471 / 31 \times 24$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon čistý} = \underline{12,7 \text{ kWh}}$  (40)

kde 9 471 kWh jsem dosadil z výpočtu (38)

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = ORC \text{ hrubá výroba srpen} / \text{počet dnů} \times 24h$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = 16\,284 / 31 \times 24$

$ORC \text{ průměrný hodinový výkon hrubý} = \underline{21,9 \text{ kWh}}$  (41)

kde 16 284 kWh jsem dosadil z výpočtu (39)

$ORC \text{ provozní doba} = ORC \text{ stav počítadla srpen} - ORC \text{ stav počítadla červenec}$

$ORC \text{ provozní doba} = 29\,060 - 28\,419$

$ORC \text{ provozní doba} = \underline{641 \text{ h}}$  (42)

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = ORC \text{ čistá výroba srpen} / ORC \text{ provozní doba}$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = 9\,471 / 641$

$ORC \text{ reálný čistý výkon dle provozních hodin} = \underline{14,8 \text{ kWh}}$  (43)

kde 9 471 kWh jsem dosadil z výpočtu (38) a 641 h z výpočtu (42)

2016	Jednotky	srpen
ORC Stav elektroměru - čistý výkon	kwh	619590
ORC Stav elektroměru - hrubý výkon	kwh	941930
ORC Stav počítadla provozních hodin	h	29060
ORC čistá výroba	kWh	9471
ORC hrubá výroba	kWh	16284
ORC průměrný hodinový výkon čistý	kW	12,7
ORC průměrný hodinový výkon hrubý	kW	21,9
ORC Provozní doba	h	641
ORC reálná čistý výroba dle provozních hodin	kW	14,8

Tab. 9.4 Vypočtené hodnoty srpen 2016 – elektrický výkon

Postup výpočtu pro ostatní měsíce v roce 2014 a pro zbylé roky 2015 a 2016 je totožný jako výše uvedený výpočet.

## 9.2 Naměřené provozní hodnoty kogenerační jednotky

Naměřené provozní údaje kogenerační jednotky byly odečteny z řídicího systému kogenerační jednotky GE Jenbacher. Tyto hodnoty byly zpracovány tak, abych s nimi mohl dále pracovat, co se týče porovnání s hodnotami, které jsem vypočítal u ORC jednotky.

V tabulkách [9.2] vidíme prosté odečty (světle oranžově podbarvený text) viz KGJ Instalovaný elektrický výkon, KGJ počet provozních hodin, KGJ Dodávka do sítě, KGJ Svorková výroba elektřiny, KGJ Technologická spotřeba elektřiny.

Dále zde máme hodnoty Výkupní cena a Zelený bonus. Jedná se o ekonomický ukazatel, který nám říká, jak s velkou sumou za vyrobenou MWh může výrobce elektřiny v daném roce počítat. Zelený bonus se týká provozů BPS, které dále využívají technologické teplo pro další efektivní účely. Nutno podotknout, že se Zeleným bonusem můžeme počítat jen u KGJ. Na ORC technologii se zelený bonus nevztahuje a s tímto je také počítáno ve výpočtech.

Sazby byly v každém daném roce jiné a jsou určeny Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 4/(2014, 2015, 2016):

- pro rok 2014: Výkupní cena = 3030 Kč/MWh, Zelený bonus = 2190 Kč/MWh
- pro rok 2015: Výkupní cena = 3040 Kč/MWh, Zelený bonus = 2190 Kč/MWh
- pro rok 2016: Výkupní cena = 3040 Kč/MWh, Zelený bonus = 2310 Kč/MWh

Výše těchto sazeb jsou volně k dispozici na webu Energetického regulačního úřadu [11], [12], [13].

Hodnoty (sytě oranžové podbarvení) jsou vypočtené. Je to výpočet, který se týká měsíčního výdělku BPS vzhledem k vyrobené elektrické energii.

Pro vysvětlení zde uvedu dílčí výpočet např. pro měsíc leden roku 2016.



2014		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
KGJ Instalovaný elektrický výkon		MW	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889
KGJ Počet provozních hodin		hod	733,0	671,0	713,0	742,0	716,0	739,0	741,0	706,0	740,0	707,0	742,0
KGJ Dodávka do sítě		MWh	596,1	548,3	595,6	581,6	566,6	559,7	559,1	542,3	578,8	536,4	580,4
KGJ Svorková výroba elektřiny		MWh	647,0	594,6	650,8	632,0	652,0	654,9	634,9	606,8	655,2	633,2	657,4
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny		MWh	13,9	30,8	34,3	35,1	41,0	44,8	44,9	39,7	37,4	34,1	77,0
Výkupní cena		Kč/MWh	3030	3030	3030	3030	3030	3030	3030	3030	3030	3030	3030
Zelený bonus		Kč/MWh	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190
KGJ Inkasovaný výdělek za výkon		Kč	1960288,8	1801668,3	1971772,5	1914869,1	1985862,0	1987680,0	1923837,9	1838482,8	1985346,9	1918535,4	1991982,6
KGJ Inkasovaný výdělek za zelený bonus		Kč	1416842,4	1302195,9	1425142,5	1384014,3	1435326,0	1436640,0	1390496,7	1328804,4	1434953,7	1386664,2	1439749,8
KGJ Výdělek Celkem		Kč	3377131,2	3103864,2	3396915,0	3298883,4	3421188,0	3424320,0	3314334,6	3167287,2	3420300,6	3305199,6	3431732,4
2015													
KGJ Instalovaný elektrický výkon		MW	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889
KGJ Počet provozních hodin		hod	697	665	737	711	741	736	740	719	741	715	739
KGJ Dodávka do sítě		MWh	555,1	531,8	589,7	576,8	572,9	490,2	548,0	557,1	578,7	569,7	600,6
KGJ Svorková výroba elektřiny		MWh	613,4	583,7	653,1	630,4	649,7	586,6	629,2	625,6	655,6	631,7	656,1
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny		MWh	26,7	31,7	33,9	32,5	37,6	38,9	40,3	37,6	34,1	43,448	35,4
Výkupní cena		Kč/MWh	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040
Zelený bonus		Kč/MWh	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190	2190
KGJ Inkasovaný výdělek za výkon		Kč	1687367,2	1616684,2	1792624,2	1753621,0	1793961,8	1741625,1	1665971,7	1693529,3	1759287,5	1731900,2	1825684,2
KGJ Inkasovaný výdělek za zelený bonus		Kč	1215570,5	1164650,8	1291397,0	1263299,3	1292360,6	1254657,6	1200157,2	1220009,5	1267381,5	1247651,8	1315213,3
KGJ Výdělek Celkem		Kč	2902937,7	2781334,9	3084021,2	3016920,3	3086322,4	2996282,7	2866128,9	2913538,9	3026669,0	2979551,9	3140897,4
2016													
KGJ Instalovaný elektrický výkon		MW	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889
KGJ Počet provozních hodin		hod	741	486	740	679	738	741	737	715	745	694	82
KGJ Dodávka do sítě		MWh	592,8	354,3	599,3	549,9	574,6	553,6	558,5	561,3	568,4	492,0	59,2
KGJ Svorková výroba elektřiny		MWh	651,3	391,4	653,2	600,7	636,9	652,1	639,9	631,7	659,4	592,7	72,4
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny		MWh	34,7	5,4	33,9	30,1	35,2	39,9	40,7	38,7	31,9	28,1	2,0
Výkupní cena		Kč/MWh	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040
Zelený bonus		Kč/MWh	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310
KGJ Inkasovaný výdělek za výkon		Kč	1802124,2	1077023,4	1821802,1	1671814,6	1746695,8	1659314,1	1697846,1	1706251,7	1727911,7	1495683,0	180077,4
KGJ Inkasovaný výdělek za zelený bonus		Kč	1369377,2	818396,0	1384329,9	1270359,1	1327259,0	1260860,4	1278709,7	1290139,6	1312985,5	1136522,3	136835,2
KGJ Výdělek Celkem		Kč	3171501,4	1895419,4	3206132,0	2942173,7	3073954,9	2920174,5	2987985,7	3002778,5	3040897,2	2632205,4	316912,6

Tab. 9.5 Vypočtené provozní hodnoty KGJ

Výpočet pro měsíc leden 2016

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = KGJ \text{ Dodávka do s\acute{i}\acute{t}\acute{e} \text{ leden} * \text{Zelen\acute{y} bonus}$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = 592,8 * 3040$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = \underline{1\,802\,124,2 \text{ Kč}}$  (44)

kde 3040 Kč/MWh jsem dosadil z [13].

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = KGJ \text{ Dodávka do s\acute{i}\acute{t}\acute{e} \text{ leden} * \text{V\acute{y}kupn\acute{i} cena}$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = 592,8 * 2310$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = \underline{1\,369\,377,2 \text{ Kč}}$  (45)

kde 2310 Kč/MWh jsem dosadil z [13].

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus leden} + KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup leden}$

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = 1\,802\,124,2 + 1\,369\,377,2$

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = \underline{3\,171\,501,4 \text{ Kč}}$  (46)

kde 1 802 124,2 Kč jsem dosadil z výpočtu (44) a 1 369 377,2 Kč z výpočtu (46)

2016		
KGJ Instalovaný elektrický výkon	MW	0,889
KGJ Počet provozních hodin	hod	741
KGJ Dodávka do sítě	MWh	592,8
KGJ Svorková výroba elektřiny	MWh	651,3
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny	MWh	34,7
Výkupní cena	Kč/MWh	3040
Zelený bonus	Kč/MWh	2310
KGJ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup	Kč	1802124,2
KGJ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus	Kč	1369377,2
KGJ V\acute{y}d\acute{e}lek Celkem	Kč	3171501,4

Tab. 9.6 Vypočtené hodnoty leden 2016 - ekonomika

Výpočet pro měsíc leden 2015

*KGJ Inkasovaný výtěžek za výkup* = KGJ Dodávka do sítě leden \* Zelený bonus

*KGJ Inkasovaný výtěžek za výkup* = 555,1 \* 3040

*KGJ Inkasovaný výtěžek za výkup* = 1 687 367,2 Kč (47)

kde 3040 Kč/MWh jsem dosadil z [12].

*KGJ Inkasovaný výtěžek za zelený bonus* = KGJ Dodávka do sítě leden \* Výkupní cena

*KGJ Inkasovaný výtěžek za zelený bonus* = 555,1 \* 2190

*KGJ Inkasovaný výtěžek za zelený bonus* = 1 215 570,5 Kč (48)

kde 2190 Kč/MWh jsem dosadil z [12].

*KGJ Výtěžek celkem* = *KGJ Inkasovaný výtěžek za zelený bonus leden* + *KGJ Inkasovaný výtěžek za výkup leden*

*KGJ Výtěžek celkem* = 1 687 367,2 + 1 215 570,5

*KGJ Výtěžek celkem* = 2 902 937,7 Kč (49)

kde 1 687 367,2 Kč jsem dosadil z výpočtu (47) a 1 215 570,5 Kč z výpočtu (48)

2015		
KGJ Instalovaný elektrický výkon	MW	0,889
KGJ Počet provozních hodin	hod	697
KGJ Dodávka do sítě	MWh	555,1
KGJ Svorková výroba elektřiny	MWh	613,4
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny	MWh	26,7
Výkupní cena	Kč/MWh	3040
Zelený bonus	Kč/MWh	2190
KGJ Inkasovaný výtěžek za výkup	Kč	1687367,2
KGJ Inkasovaný výtěžek za zelený bonus	Kč	1215570,5
KGJ Výtěžek Celkem	Kč	2902937,7

Tab. 9.7 Vypočtené hodnoty leden 2015 - ekonomika



Výpočet pro měsíc leden 2014

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = KGJ \text{ Dodávka do s\acute{i}\acute{t}\acute{e} \text{ leden} * \text{Zelen\acute{y} bonus}$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = 596,1 * 3030$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup} = \underline{1\,960\,288,8 \text{ K\acute{c}}}$  (50)

kde 3030 K\acute{c}/MWh jsem dosadil z [11].

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = KGJ \text{ Dodávka do s\acute{i}\acute{t}\acute{e} \text{ leden} * \text{V\acute{y}kupn\acute{i} cena}$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = 596,1 * 2190$

$KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus} = \underline{1\,416\,842,4 \text{ K\acute{c}}}$  (51)

kde 2190 K\acute{c}/MWh jsem dosadil z [11].

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus leden} + KGJ \text{ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup leden}$

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = 1\,960\,288,8 + 1\,416\,842,4$

$KGJ \text{ V\acute{y}d\acute{e}lek celkem} = \underline{3\,377\,131,2 \text{ K\acute{c}}}$  (52)

kde 1 960 288,8 K\acute{c} jsem dosadil z výpočtu (50) a 1 416 842,4K\acute{c} z výpočtu (51)

2014		leden
KGJ Instalovaný elektrický výkon	MW	0,889
KGJ Počet provozních hodin	hod	733,0
KGJ Dodávka do sítě	MWh	596,1
KGJ Svorková výroba elektřiny	MWh	647,0
KGJ Technologická vlastní spotřeba elektřiny	MWh	13,9
Výkupní cena	K\acute{c}/MWh	3030
Zelený bonus	K\acute{c}/MWh	2190
KGJ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za v\acute{y}kup	K\acute{c}	1960288,8
KGJ Inkasovaný v\acute{y}d\acute{e}lek za zelen\acute{y} bonus	K\acute{c}	1416842,4
KGJ V\acute{y}d\acute{e}lek Celkem	K\acute{c}	3377131,2

Tab. 9.8 Vypočtené hodnoty leden 2014 - ekonomika

Postup výpočtu pro ostatní měsíce v roce 2016 a pro zbylé roky 2014 a 2015 je totožný jako výše uvedený výpočet.

### 9.3 Zhodnocení navýšení výroby elektřiny ORC jednotkou

V této podkapitole zhodnotím celkový přínos instalace ORC jednotky, který přinesl bioplynové stanici Žerotín a. s. Zhodnocení provedu jak vzhledem k navýšení výroby elektrické energie, tak vzhledem k celkové finanční ekonomice provozu.

V tabulkách [9.3] vidíme již dříve vypočtené hodnoty viz. ORC čistá výroba, KGJ Dodávka do sítě, KGJ Inkasovaný výdělek za výkup a Výkupní cena viz. Rozhodnutí ERÚ [11], [12], [13].

Hodnoty (sytě zeleně podbarvené a sytě modře podbarvené) jsou vypočtené. Sytě zeleně podbarvené hodnoty se týkají finančního přínosu ORC jednotky – ORC Inkasovaný výdělek za výkup spolu se servisními náklady - ORC Náklady na servis.

2016	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC čistá výroba	MWh	19,61	21,12	11,64	19,78	16,26	13,33	9,47	9,99	11,01	12,05	11,40	2,12
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1802124,2	1077023,4	1821802,1	1671814,6	1746695,8	1659314,1	1682804,2	1697846,1	1706251,7	1727911,7	1495683,0	180077,4
KGJ Dodávka do sítě	MWh	592,8	354,3	599,3	549,9	574,6	545,8	553,6	558,5	561,3	568,4	492,0	59,2
Výkupní cena	Kč/MWh	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	59608,3	64210,9	35382,6	60140,3	49439,5	40508,0	28791,8	30354,4	33470,4	36620,4	34652,4	6435,7
ORC Náklady na servis	Kč	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500
Návýšení účinnosti KGJ	%	3,3	6,0	1,9	3,6	2,8	2,4	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	3,6
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	3,3	6,0	1,9	3,6	2,8	2,4	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	3,6
2015	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC čistá výroba	kWh	16,742	18,187	18,4	163,77	15,252	12,383	11,17	9,725	11,796	12,832	12,644	7,171
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1687367,2	1616684,2	1792624,2	1753621,0	1793961,8	1741625,1	1490059,0	1665971,7	1693529,3	1759287,5	1731900,2	1825684,2
KGJ Dodávka do sítě	MWh	555,1	531,8	589,7	576,8	590,1	572,9	490,2	548,0	557,1	578,7	569,7	600,6
Výkupní cena	Kč/MWh	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	0,0	39893,9	55945,1	35036,0	49886,4	38687,0	31631,2	16905,4	23727,2	41790,9	43411,2	50561,3
ORC Náklady na servis	Kč	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500
Návýšení účinnosti KGJ	%	3,0	3,3	4,1	2,7	3,9	3,6	3,6	2,1	2,7	3,6	3,6	3,8
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	0,0	2,5	3,1	2,0	2,8	2,2	2,1	1,0	1,4	2,4	2,5	2,8
2014	Jednotky	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ORC čistá výroba	MWh	19,61	21,12	11,64	19,78	16,26	13,33	9,47	9,99	11,01	12,05	11,40	2,12
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1960288,8	1801668,3	1971772,5	1914869,1	1985862,0	1915020,6	1987680,0	1923837,9	1838482,8	1985346,9	1918535,4	1991982,6
KGJ Dodávka do sítě	MWh	596,1	548,3	595,6	581,6	595,7	566,6	564,0	559,1	542,3	578,8	536,4	580,4
Výkupní cena	Kč/MWh	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0	3030,0
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	59608,3	64210,9	35382,6	60140,3	49439,5	40508,0	28791,8	30354,4	33470,4	36620,4	34652,4	6435,7
ORC Náklady na servis	Kč	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500	0	0	22500
Návýšení účinnosti KGJ	%	3,3	3,9	2,0	3,4	2,7	2,4	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	0,4
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	3,3	6,0	1,9	3,6	2,8	2,4	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	3,6

Tab. 9.9 Výpočet navýšení výroby elektriny ORC jednotkou

Sytě modře podbarvené hodnoty se týkají výpočtu, který ukazuje procentuální navýšení výroby elektrické energie – Navýšení účinnosti KGJ a procentuální navýšení příjmu za výrobu elektrické energie – Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC.

Pro vysvětlení výpočtu zde uvedu výpočty pro březnové měsíce každého roku.

#### Výpočet pro měsíc březen 2016

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = ORC čistá výroba březen \* Výkupní cena

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 11,64 \* 3040

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 35 382,6 Kč (53)

kde 3040 Kč/MWh jsem dosadil z [13].

*ORC Náklady na servis* = Servisní prohlídka \* 4

*ORC Náklady na servis* = 25 000 \* 4

*ORC Náklady na servis* = 90 000 Kč (54)

kde 25 000Kč je čtvrtletní poplatek za servisní prohlídku

*Navýšení účinnosti KGJ* = ORC čistá výroba březen / (KGJ Dodávka do sítě březen / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 11,64 / (599,3 / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 1,94 % (55)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = ORC Inkasovaný výdělek za výkup / (KGJ Inkasovaný výdělek za výkup /100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 35 382,6 / (1 821 828 / 100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 1,94 % (56)

kde 35 328,6 Kč jsem dosadil z výpočtu (53)

2016	Jednotky	březen
ORC čistá výroba	MWh	11,64
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1821802,1
KGJ Dodávka do sítě	MWh	599,3
Výkupní cena	Kč/MWh	3040
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	35382,6
ORC Náklady na servis	Kč	22500
Navýšení účinnosti KGJ	%	1,9
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	1,9

Tab. 9.10 Navýšení elektrického výkonu březen 2016

Výpočet pro měsíc březen 2015

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = ORC čistá výroba březen \* Výkupní cena

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 18,4 \* 3040

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 55 945,1 Kč (57)

kde 3040 Kč/MWh jsem dosadil z [12].

*ORC Náklady na servis* = Servisní prohlídka \* 4

*ORC Náklady na servis* = 25 000 \* 4

*ORC Náklady na servis* = 90 000 Kč (58)

kde 25 000Kč je čtvrtletní poplatek za servisní prohlídku

*Navýšení účinnosti KGJ* = ORC čistá výroba březen / (KGJ Dodávka do sítě březen / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 16,65 / (589,7 / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 4,1 % (59)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = ORC Inkasovaný výdělek za výkup / (KGJ Inkasovaný výdělek za výkup /100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 55 945,1 / (1 792 264,2 / 100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 3,1 % (60)

kde 55 945,1 Kč jsem dosadil z výpočtu (57)

2015	Jednotky	březen
ORC čistá výroba	kWh	18,4
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1792624,2
KGJ Dodávka do sítě	MWh	589,7
Výkupní cena	Kč/MWh	3040
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	55945,1
ORC Náklady na servis	Kč	22500
Navýšení účinnosti KGJ	%	4,1
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	3,1

Tab. 9.11 Navýšení elektrického výkonu březen 2015

Výpočet pro měsíc březen 2014

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = ORC čistá výroba březen \* Výkupní cena

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 11,64 \* 3040

*ORC Inkasovaný výdělek za výkup* = 35 382,6 Kč (60)

kde 3040 Kč/MWh jsem dosadil z [11].

*ORC Náklady na servis* = Servisní prohlídka \* 4

*ORC Náklady na servis* = 25 000 \* 4

*ORC Náklady na servis* = 90 000 Kč (61)

kde 25 000Kč je čtvrtletní poplatek za servisní prohlídku

*Navýšení účinnosti KGJ* = ORC čistá výroba březen / (KGJ Dodávka do sítě březen / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 11,64 / (595,6 / 100)

*Navýšení účinnosti KGJ* = 2% (62)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = ORC Inkasovaný výdělek za výkup / (KGJ Inkasovaný výdělek za výkup /100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 35 382,6 / (1 821 828 / 100)

*Zvýšení výnosu KGJ použitím ORC* = 1,9% (63)

kde 35 328,6 Kč jsem dosadil z výpočtu (61)

2014	Jednotky	březen
ORC čistá výroba	MWh	11,64
KGJ Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	1971772,5
KGJ Dodávka do sítě	MWh	595,6
Výkupní cena	Kč/MWh	3030,0
ORC Inkasovaný výdělek za výkup	Kč	35382,6
ORC Náklady na servis	Kč	22500
Navýšení účinnosti KGJ	%	2,0
Zvýšení výnosů KGJ použitím ORC	%	1,9

Tab. 9.12 Navýšení elektrického výkonu březen 2014

Postup výpočtu pro ostatní měsíce v roce 2016 a pro zbylé roky 2014 a 2015 je totožný jako výše uvedený výpočet.

*Poznámka: Navýšení výnosu je vztaženo pouze na výkupní hodnotu prodeje elektřiny bez částky za výkup zeleného bonusu. Je to z důvodu lepší porovnatelnosti, protože zelený bonus se na jednotky ORC nevztahuje.*



## 10. Závěr

Cílem této práce bylo posouzení ORC technologie jako vhodný prostředek k navýšení elektrické účinnosti bioplynové stanice. Z výpočtů je zřejmé, že zvýšení elektrického výkonu použitím ORC jednotky bylo v roce 2014 o 2,3% v průměru, v roce 2015 o 3,3% v průměru a v roce 2016 o 2,8% v průměru za celý rok. To znamená průměrné navýšení elektrického výkonu o 2,8% po celou dobu ostrého provozu BPS Žerotín a.s.

Zvýšení finančních výnosů pomocí ORC jednotky bylo v roce 2014 o 2,8% v průměru, v roce 2015 o 2,1% v průměru a v roce 2016 o 2,8% v průměru za rok. To znamená průměrné navýšení finančních výnosů o 2,6% po celou dobu ostrého provozu bioplynové stanice. Jsou to úžasné hodnoty, když vezmeme v úvahu fakt, že ORC jednotka používá jako palivo pouze odpadní teplo z chladicího oběhu kogenerační jednotky.

Dalším cílem této diplomové práce bylo výpočtem dokázat, že jednoduchou úpravou vnitřního okruhu ORC jednotky, resp. výměnou typu pájeného deskového výměníku – výparníku, by došlo ke stabilizaci provozu ORC jednotky a KGJ. Za předpokladu provedení úpravy výparníku v ORC jednotce by se hodnoty navýšení elektrického výkonu a ekonomických výnosů ještě dále navýšily, protože by po této úpravě narostl počet provozních hodin ORC systému a nedocházelo by k žádným nechtěným odstávkám KGJ.

Je zde samozřejmě také otázka, zdali se přes tato výkonová a ekonomická navýšení vyplatí investovat do ORC systému. Prostou kalkulací, kdy z tabulky [9.3] – hodnota „ $\Sigma$ ORC Inkasovaný výdělek za výkup“ je zřejmé, že ORC jednotka ročně vydělá okolo 0,5 mil. Kč a provozní náklady v podobě servisní údržby, která ročně vyjde na 90 000 Kč, se dostaneme k čistému ročnímu výdělku cca 400 000 Kč. Cena tohoto zařízení, včetně instalace, všech nutných zařízení a oživení soustrojí se pohybuje někde okolo 5 mil. Kč. To znamená, že prostá návratnost zařízení je v ideálním případě do 10 let. Životnost zařízení je dle výrobce až 20 let. Další, možná ještě důležitější otázkou, je výše státní podpory. Tento faktor je hlavní a základní a na něm vše stojí a padá. Státní podpora a její výše jasně řekne, zdali má toto zařízení smysl z hlediska ekonomické návratnosti. Nehledě na to, zda má toto zařízení obrovský technický přínos.

To je ale vždy rozhodující faktor u každého energetického zařízení, ať už jde o ORC jednotku, bioplynovou stanici, spalovnu atd. Pokud takovéto zařízení nebude mít oporu v podobě státní podpory, pak realizace takového zařízení bude vždy obrovský problém z hlediska financování a návratnosti. Proto je velmi důležité, aby tyto předpisy vymýšleli velmi vzdělaní lidé v daném oboru a veškerá energie a technologie



byla využívána ku prospěchu společnosti a nebyla pouze využívána jako prostý zdroj velmi vysokých příjmů pro omezenou skupinu lidí.

Vzhledem k tomu, že v energetice člověk nemá nikdy moc velkou jistotu toho, co bude za pár let, tak může přijít doba, kdy ORC jednotka nebude mít žádnou státní podporu v podobě výkupu elektrické energie, kterou vyrobí a tím pádem bude její návratnost daleko za životností stroje. Na druhou stranu může přijít doba, kdy kromě podpory za výkup elektrické energie bude ORC jednotce přiznána i podpora v podobě Zeleného bonusu a to by znamenalo, že návratnost takového zařízení by byla o cca 50% rychlejší, tzn., dostali bychom se někam na prostou návratnost okolo 2,5 roku a to je již velmi zajímavá hodnota.

## 12. Použitá literatura

- [1] JELÍNEK A KOLEKTIV, Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel, Praha: AGROSPOJ, 2001. 262 s.
- [2] BPS Šlapanov, Schéma bioplynové stanice [online]. [cit. 26. 02. 2017]. Dostupné z WWW: <http://bps-slapanov.webnode.cz/bioplynova-stanice/>
- [3] Biom [online], [cit. 26. 02. 2017], Bioplyn jako alternativní zdroj energie v České Republice. Dostupné z WWW:  
[http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn\\_jako\\_alternativni\\_zdroj\\_energie\\_v\\_cr.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn_jako_alternativni_zdroj_energie_v_cr.pdf)
- [4] Ing. Michal Špaček, Kogenerační jednotky z pohledu elektrické energie [online]. [cit. 11. 03. 2017]. Dostupné z WWW: <http://partnerstvi-energetiky.msek.cz/wp-content/uploads/zaverecne-zpravy/vsb-tu-ostrava/spacek.pdf>
- [5] ESS VIESSMANN Group. Dokumentation BHKW Vitobloc 200 Energy Systeme and Service GmbH [online]. [cit. 11. 03. 2017]. Dostupné z WWW:  
[http://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Kogeneracni/5719952-4\\_techicky\\_popis\\_Vitobloc%20200%20EM-401%2BEM-363%2001-2015\\_CZ%20\(2\).pdf/jcr\\_content/renditions/original./5719952-4\\_techicky\\_popis\\_Vitobloc%20200%20EM-401%2BEM-363%2001-2015\\_CZ%20\(2\).pdf](http://www.viessmann.cz/content/dam/vi-brands/CZ/Pdf/LTU/Listy/Kogeneracni/5719952-4_techicky_popis_Vitobloc%20200%20EM-401%2BEM-363%2001-2015_CZ%20(2).pdf/jcr_content/renditions/original./5719952-4_techicky_popis_Vitobloc%20200%20EM-401%2BEM-363%2001-2015_CZ%20(2).pdf)
- [6] KRBEK, J., POLESNÝ, B.: Kogenerační jednotky zřizování a provoz, [online]. [cit. 11. 03. 2017]. Dostupné z WWW: [http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni\\_jednotky\\_zrizovani\\_provoz\\_2220047233.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf)
- [7] Bioplynová stanice, Bioplynová stanice [online]. [cit. 19. 03. 2017]. Dostupné z WWW: <http://www.nazeleno.cz/bioplynova-stanice.dic>
- [8] GE Jenbacher, [online]. [cit. 23. 03. 2017]. Jenbacher J320. Dostupné z WWW: [https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en\\_US/images/product/galleries/reciprocating/jen-type3/1200\\_J320\\_GE\\_Jenbacher.jpg](https://powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/images/product/galleries/reciprocating/jen-type3/1200_J320_GE_Jenbacher.jpg)
- [9] Brazelect, G-MAR PLUS s. r. o.
- [10] G-MAR PLUS s. r. o., Standardní řada deskových výměníků [online]. [cit. 26. 03. 2017]. Dostupné z WWW: <http://www.g-mar.cz/standardni-rada/>
- [11] Věstník 2014, Energetický regulační úřad [online]. [cit. 17. 04. 2017]. Dostupné z WWW:  
[http://www.eru.cz/documents/10540/462894/CR\\_POZE\\_04\\_2013.pdf/fcc8b49f-c021-475a-b3b7-a375e0074b84](http://www.eru.cz/documents/10540/462894/CR_POZE_04_2013.pdf/fcc8b49f-c021-475a-b3b7-a375e0074b84)

- [12] Věstník 2015, Energetický regulační úřad [online]. [cit. 17. 04. 2017]. Dostupné z WWW: [http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV\\_4\\_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683](http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683)
- [13] Věstník 2016, Energetický regulační úřad [online]. [cit. 17. 04. 2017]. Dostupné z WWW: [http://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV\\_6\\_2015/e64aff61-1df9-485e-b3fe-56bef976440b](http://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_6_2015/e64aff61-1df9-485e-b3fe-56bef976440b)
- [14] V. Blahož, Z. Kadlec, Základy sdílení tepla, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2000. 110 s.
- [15] Janáčová. D, Procesní inženýrství Tabulky, [online]. [cit. 17. 04. 2017]. Dostupné z WWW: <http://www.luzar.cz/web/web-skola/pin/tabulky.pdf>

### **13. Seznam obrázků**

Obr. 2.1 Oběh ORC jednotky

Obr. 2.2 Výparník ORC jednotky - schéma

Obr. 2.3 Kondenzátor ORC jednotky - schéma

Obr. 3.1 Technologické schéma BPS[2]

Obr. 4.1 Závislost výhřevnosti na obsahu metanu v bioplynu[3]

Obr. 4.2 Cyklus plynu[3]

Obr. 4.3 Čtyřfázový model anaerobního vyhnívání[1]

Obr. 4.4 Graf výtěžnosti plynu[1]

Obr. 4.5 Mokrý fermentace[3]

Obr. 4.6 Výhody a nevýhody anaerobní fermentace[1]

Obr. 5.1 Kogenerační jednotka GE Jenbacher J320[9]

Obr. 5.2 Energetická bilance kogenerační jednotky[5]

Obr. 5.3 Energetická bilance KVET a oddělené výroby elektřiny a tepla[6]

Obr. 6.1 Výrobní štítek BPS Žerotín a. s.

Obr. 6.2 Strojovna kogenerační jednotky

Obr. 6.3 Schéma technologie BPS Žerotín a. s.

Obr. 7.1 Spalinový výměník GE Leanox

Obr. 7.2 Trojcestný ventil KSB

Obr. 7.3 Vývod tepla pro ORC jednotku

Obr. 7.4 Schéma zapojení ORC jednotky do systému KGJ

Obr. 8.1 Bilanční schéma výparníku ORC jednotky Electratherm Green Machine

Obr. 8.2 Zadání vstupních dat pro výpočet[9]

Obr. 8.3 Vypočtené hodnoty výparníku[9]

Obr. 8.4 Základní rozměry výparníku

Obr. 8.5 Bilanční schéma optimalizovaného výparníku

Obr. 8.6 Svislý axonometrický pohled výparníku L57 - 60

Obr. 8.7 Vodorovný axonometrický pohled výparníku L57 - 60

Obr. 8.8 Návrh deskového výměníku

Obr. 8.9 Návrh desky výparníku

## **14. Seznam tabulek**

Tab. 4.1 Složení plynu

Tab. 4.2 Základní vlastnosti bioplynu a jeho jednotlivých složek[1]

Tab. 5.1 Charakteristika vlastností základních druhů kogeneračních zařízení[6]

Tab. 8.1 Parametry výměníku L57-60

Tab. 9.1 Naměřené provozní hodnoty ORC jednotky

Tab. 9.2 Vypočtené hodnoty srpen 2014 – elektrický výkon

Tab. 9.3 Vypočtené hodnoty srpen 2015 – elektrický výkon

Tab. 9.4 Vypočtené hodnoty srpen 2016 – elektrický výkon

Tab. 9.5 Vypočtené provozní hodnoty KGJ

Tab. 9.6 Vypočtené hodnoty leden 2016 – ekonomika

Tab. 9.7 Vypočtené hodnoty leden 2015 – ekonomika

Tab. 9.8 Vypočtené hodnoty leden 2014 – ekonomika

Tab. 9.9 Výpočet navýšení výroby elektřiny ORC jednotkou

Tab. 9.10 Navýšení elektrického výkonu březen 2016

Tab. 9.11 Navýšení elektrického výkonu březen 2015

Tab. 9.12 Navýšení elektrického výkonu březen 2014

## **15. Seznam příloh**

Příloha č. 1 Výkres - R&I Diagram

Příloha č. 2 Výkres – Deskový výměník

Příloha č. 3 Výkres – Deska výměníku